Пересчет обмотки асинхронного двигателя при ремонте



Девотченко Ф. С.

"Замена обмотки трехфазных электродвигателей", часть 1, 1991 г. – стр. 2
"Замена обмотки многоскоростных электродвигателей" часть 2, 1991 г. – стр. 103
"Переделка трехфазных электродвигателей на однофазные с заменой обмотки" часть 3, 1991 г. – стр. 152

Rev. 06   03 March 2021

Часть I. Замена обмотки трехфазных электродвигателей.

I. Общие сведения необходимые при замене обмоток асинхронных электродвигателей.

1. Принцип работы и некоторые особенности асинхронных электродвигателей.

При подключении электродвигателя к электросети по его обмотке, находящейся в пазах статора, проходит электрический ток, образующий вокруг проводников магнитное поле (на рис. 1. представлен сердечник статора с пазами для обмотки). Так как ток подводится переменный, то магнитное поле в статоре будет также переменным и к тому же вращающимся. Обмотка статора изготовлена таким образом, что возникшее магнитное поле создает полюса северный (С) и южный (Ю). Частота (скорость) вращения магнитного поля статора (n) прямо пропорциональна частоте тока (f) и обратно пропорциональна числу пар полюсов (p). При стандартной частоте тока 50 *гц* наибольшая частота вращения поля при одной паре полюсов обмотки будет максимальной:

$$n = \frac{60 \times f}{p} = \frac{60 \times 50}{1} = 3000 \text{ об. мин}$$

Чем больше число пар полюсов обмотки статора, тем меньше частота вращения магнитного поля, которое, концентрируясь в стали статора, образует вращающийся магнитный поток, проходящий через зубцы и спинку статора, воздушный зазор (между статором и ротором), замыкаясь через сталь ротора (на рис. 2 показано распределение магнитного потока в зависимости от числа пар полюсов электродвигателя – p = 1, 2, 3).

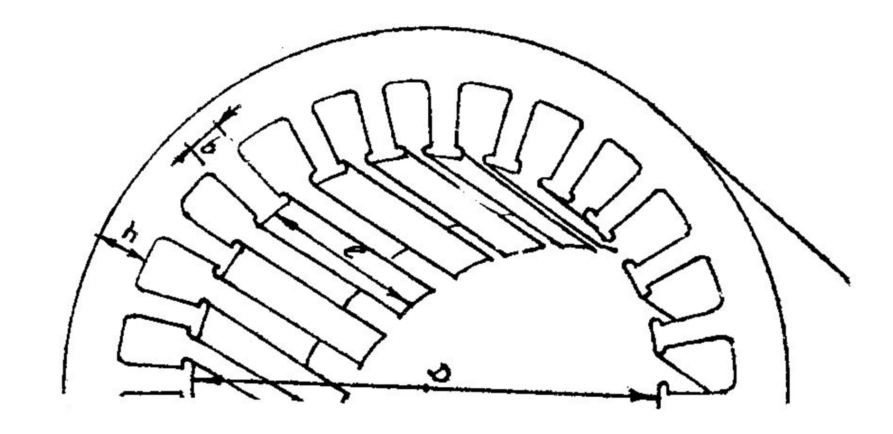


Рис. 1. Активная часть (сердечник) статора.

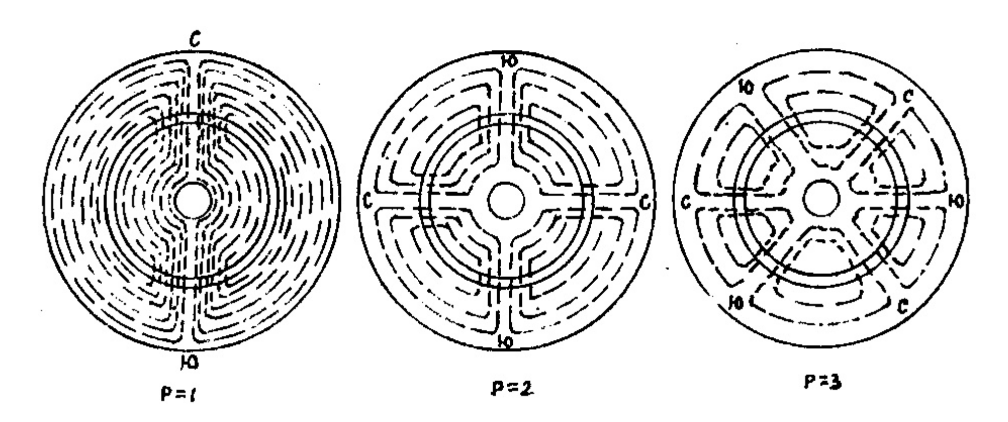


Рис. 3. Распределение магнитного потока в электродвигателе при числе пар полюсов p = 1, 2, 3.

В роторе также имеются пазы, которые в короткозамкнутом заполняются стержнями меди или (чаще) заливаются алюминиевым сплавом по форме беличьей клетки, а в фазном – обмоткой, идентичной статору.

Вращающийся магнитный поток статора, пересекая проводники ротора, наводит электродвижущую силу (*ЭДС*) в обмотке, но так как она замкнута, то проходящий в ней ток в свою очередь создаст магнитный поток в теле ротора с таким же числом пар полюсов, что и в статоре. Взаимодействие магнитного потока ротора (или проводников ротора под током) с вращающимся магнитным потоком статора создает электромагнитную силу (*МДС*, магнитодвижущую силу), приводя ротор во вращение.
Активной частью обмотки являются проводники, расположенные в пазах статора, создающие магнитное поле, а пассивной – проводники в лобовых частях, которые служат как соединяющие для прохождения тока. Учитывая это, при изготовлении секций надо стремиться к меньшим их размерам (насколько это возможно) для экономии обмоточного провода за счет уменьшения лобовых частей обмотки.
Сама обмотка в статоре имеет малое активное и реактивное сопротивление, поэтому подключать ее к сети на номинальное напряжение без подшипниковых щитов или при заторможенном роторе короткозамкнутого исполнения или фазном – с замкнутой обмоткой нельзя, так как будет потребляться чрезмерно большой ток, равный начальному пусковому. Заторможенный электродвигатель можно подключать: короткозамкнутый на пониженное напряжение порядка до 30% от номинального, а фазный с разомкнутой обмоткой – на номинальное напряжение, при этом последний подобен трансформатору и будет потреблять ток холостого хода (намагничивания).
При работе электродвигателя подводимое напряжение от электросети уравновешивается в основном за счет противоэлектродвижущей силы (*пэдс*), возникающей в обмотке статора от вращающегося магнитного поля статора, в результате чего электродвигатель потребляет ток в зависимости от нагрузки.
Работа электродвигателя с хорошими характеристиками зависит от нормального насыщения магнитным потоком зубцов статора. При низкой магнитной индукции электродвигатель будет иметь малый ток холостого хода, а следовательно, слабый пусковой и вращающий моменты. Спинка статора, являясь соединяющей частью общего магнитопровода, будет ли насыщена или не насыщена магнитным потоком, – это не влияет на работу электродвигателя, в первом случае она не должна перегреваться выше допустимой нормы температуры, во втором – электродвигатель будет работать в лучшем тепловом режиме.
Заводы–изготовители конструируют электродвигатели из определенных размеров, т. е. при одинаковых габаритах, чем они быстроходнее, тем выше (толще) спинка статора, например, при 3000 *об. мин.* спинка выше порядка в 2 раза, чем при 1500 *об. мин.* Обычно стараются выпускать электродвигатели на одну ступень оборотов, при этом части сердечника статора имеют размеры, при которых они полностью загружены магнитным потоком для предусмотренной мощности. Но стремясь к экономии на дорогостоящих штампах, при штамповке листов стали пакетов, а также в целях уменьшения числа ступеней габаритов, некоторые электродвигатели изготовляют с сердечниками одинаковых размеров на две рядом лежащие ступени частот вращения, например, 1500 и 1000, 1000 и 750 *об. мин.* и т. д. В этом случае спинка активной стали статора (сердечника) на высшей ступени частоты вращения загружена магнитным потоком нормально, а на низшей – недогружена, в результате чего во втором случае не полностью используется электротехническая сталь. Такие электродвигатели одного и того же исполнения не отличаются друг от друга по размеру, но имеют разную мощность.
Электродвигатели в закрытом обдуваемом исполнении имеют мощность на одну ступень меньше, чем электродвигатели защищенного открытого исполнения, поэтому несмотря на одинаковые размеры сердечников активной стали нельзя перематывать обмотку их как взаимозаменяемую.
Если закрытый обдуваемый электродвигатель перемотать по обмоточным данным защищенного открытого, то он при работе сгорит или будет пригоден только для повторно–кратковременной работы.

Если защищенный открытый электродвигатель перемотать по обмоточным данным закрытого обдуваемого электродвигателя, то он потеряет мощность на одну ступень. Электродвигатели одного габарита и серии, но отличающиеся длиной сердечника статора, имеют разную мощность на одну ступень.

2. Взаимосвязь между геометрическими и электрическими градусами.

Как и всякая окружность, статор имеет 360 геометрических градусов (ГГ), тогда как электрические градусы (ЭГ) зависят от числа пар полюсов обмотки. Связано это с тем, что переменный ток, изменяясь по синусоиде, проходит полный цикл изменений под двумя полюсами – северным и южным, что составляет 360 электрических градусов. Электрические градусы в статоре равны произведению геометрических градусов на число пар полюсов

$$ЭГ = ГГ \times p$$

Чем больше электродвигатель будет иметь число пар полюсов, тем больше будет электрических градусов и тем он будет тихоходнее.
Электрические и геометрические градусы совпадают по величине для электродвигателя, статор которого намотан на 3000 *об. мин.*

$$ЭГ = ГГ \times p = 360 \times 1 = 360$$

Шестиполюсный электродвигатель имеет электрических градусов:

$$ЭГ = 360 \times 3 = 1080$$

3. Влияние изменения числа эффективных проводников в пазе статора на параметры электродвигателя.

При расчете числа эффективных проводников в пазе статора (N) может получиться дробное число, которое необходимо округлить до ближайшего целого числа. Округление дробного числа возможно только в том случае, когда величина дроби, на которую происходит уменьшение или увеличение до целого числа, не превышает порядка 3% от расчетного дробного числа проводников при последовательной обмотке. Допустим, при расчете получилось 15,8 или 6,1 эффективных проводников при последовательной обмотке, поэтому в первом случае необходимо увеличить до 16 проводников на 0,2, что составит 1,3%, а во втором случае надо уменьшить до 6 проводников на 0,1, что составит 1,6% от расчетных данных чисел. В обоих случаях округление допустимо.

Если суммарное сечение всех элементарных (параллельных) проводов, из которых состоит эффективный проводник, окажется слишком большим при последовательной обмотке и из–за большого количества проводов трудно заготовлять обмотку, а крупные диаметры проводов или не проходят в шлицы пазов статора или же плохо поддаются изгибу при укладке в лобовой части, то для уменьшения сечения эффективного проводника образуются параллельные ветви. Обычно это встречается для большой мощности электродвигателей.
При образовании параллельных ветвей количество эффективных проводников увеличивается, а сечение их уменьшается в число раз параллельных ветвей. Возможное число параллельных ветвей *(а)* приведено в табл. 1.
В том случае, если при округлении дробных эффективных проводников необходимая величина дроби превышает 3%, то получение целого числа возможно за счет образования параллельных ветвей.

Например, расчетное число эффективных проводников при последовательной обмотке получено 6,4 при этом уменьшение до 6 проводников дробь 0,4 составляет 7%, что недопустимо, поэтому надо принять возможное число параллельных ветвей, допустим, $a = 2$ или $a = 3$, причем число эффективных проводников в пазе изменится.

$$N = 2 \times 6{,}4 = 12{,}8 = 13$$
$$N = 3 \times 6{,}4 = 19{,}2 = 19$$

Оба варианта приемлемы, но лучшим является в 3 параллельные ветви, так как к 19,2 проводникам дробь 0,2 является наименьшей величиной, составляющей 1%, тогда как к 12,8 проводникам 0,2 составляет 1,5%. Такое принятие возможного числа параллельных ветвей является вынужденным. Значит, наличие параллельных ветвей не только уменьшает сечение эффективных проводников, но и одновременно позволяет получить целое число эффективных проводников, если при расчете оно получилось дробным, а округлить его недопустимо. В некоторых случаях для этого в быстроходных электродвигателях дополнительно прибегают к изменению принятой ширины шага. Расчетное число эффективных проводников с учетом погрешностей и округления (при выборе параллельных ветвей) не должно превышать ±5% от данных завода, только в этом случае электродвигатель будет иметь хорошие характеристики. При уменьшении числа проводников (против расчетных) увеличивается намагничивающий ток и возрастают магнитные нагрузки, пусковой и вращающий моменты, но при продолжительной работе повысится нагрев электродвигателя и сократятся его сроки службы.

При увеличении числа проводников (что влечет уменьшение их сечения) эти параметры снижаются, увеличивается cosφ и срок службы, но при этом снизится мощность электродвигателя, что можно допустить, если не требуется большого пускового и вращающего моментов и, если возможно незначительное снижение мощности для агрегата где установлен электродвигатель. В обоих случаях при увеличении или уменьшении числа проводников, против расчетных, ухудшается коэффициент полезного действия (КПД).
Происходящее явление в электродвигателе при отклонении числа проводников от расчетного можно судить по соотношению:

$$B_З = \frac{2p \times 10^3}{Z^2 \times L \times b \times N \times K_У}$$

Из соотношения видно, что магнитная индукция в зубцах ($B_З$) обратно пропорциональна числу проводников в пазе (N) – чем меньше число проводников, тем больше магнитная индукция и наоборот. Если увеличить или уменьшить число проводников в определенную величину, то в эту же величину изменится магнитная индукция или магнитный поток. Изменение магнитной индукции вызовет изменение в такую же величину намагничивающей силы или магнитодвижущей силы (МДС) холостого хода, что подтверждается законом магнитной цепи:

$$B_{(Ф)} = \frac{МДС}{R_M}$$

По закону магнитной цепи при нормальном насыщении стали магнитный поток прямо пропорционален намагничивающей силе ($N \times I_о$) и обратно пропорционален сопротивлению магнитной цепи ($R_М$). Но если считать магнитное сопротивление цепи постоянной величиной, то магнитный поток будет зависеть от числа проводников (N) и намагничивающего тока ($I_о$), $B = I_о \times N$ (ампер–витков).

При такой зависимости соответствует, что если изменить число проводников в определенную величину, то в такую же величину изменится магнитная индукция, и для сохранения равенства намагничивающий ток должен измениться в такую же величину в квадратной степени. Например, проводники изменены на 5%, или в 1,05 раза, тогда равенство будет:

при уменьшении их:

$$B \times 1{,}05 = I_O \times 1{,}05^2 \times \frac{N}{1{,}05}$$

и при их увеличении:

$$\frac{B}{1{,}05} = \frac{I_O}{1{,}05^2} \times N \times 1{,}05$$

Но такое соотношение справедливо только при небольшом изменении числа проводников, когда сохранится нормальное магнитное насыщение стали (величины магнитных индукций приведены в табл. 2.)
Если же изменить число проводников в величину, при которой сталь будет не донасыщена или перенасыщена, то сразу изменится магнитная проницаемость и магнитное сопротивление стали, в результате чего нарушится существующая квадратичная зависимость между магнитной индукцией и намагничивающим током (током холостого хода). В этом случае изменение числа проводников приведет к изменению магнитной индукции в такую же величину (в 1–й степени), а намагничивающего тока в такую же величину, но уже в 3, 4, 5–й и т. д. степени. Из–за изменения числа проводников с увеличением магнитной индукции намагничивающий ток (холостого хода) проявляется более интенсивно за счет перенасыщения стали, величина которого превышает во много раз номинальный ток электродвигателя, а при большой не до насыщенности стали, с уменьшением магнитной индукции ток холостого хода уменьшается в меньшей степени, при этом резко снижается мощность электродвигателя. При одном качестве стали и одинаковом изменении магнитной индукции степень изменения тока намагничивания зависит от чистоты вращения магнитного поля. Чем больше частота вращения электродвигателя, тем в меньшей степени изменяется ток холостого хода и наоборот. При замене обмотки в статоре необходимо обязательно проверить ток холостого хода электродвигателя и сравнить с табл. 4.

4. Влияние величины зазора на работу электродвигателя.

Расчет эффективных проводников в пазе может быть правильным в том случае, если воздушный зазор между статором и ротором имеет размер, предусмотренный ранее конструкцией электродвигателя в заводском исполнении. Если по каким–либо причинам воздушный зазор увеличен (стирание при работе из–за плохих подшипников или проточка), то соответственно увеличивается сопротивление магнитному потоку, а значит, и растет ток намагничивания (ток холостого хода). В этом случае двигатель выбраковывается. Чтобы обеспечить его нормальную работу, надо увеличить число проводников в пазе, а значит, уменьшить сечение провода, что ведет к снижению мощности электродвигателя. Кроме того, электродвигатель будет иметь плохие характеристики.

5. Соотношение пазов ротора и статора в зависимости от числа полюсов.

Электродвигатели конструируются с таким расчетом, чтобы существовала нормальная магнитная взаимосвязь между статором и ротором, поэтому при определенном числе полюсов должно быть соответствующее число пазов статора и ротора.

Если это условие не будет соблюдено, то возможен шум в двигателе или прилипание ротора при пуске и даже застревание его на определенной ступени скорости, что не позволит достичь нормальных оборотов. Такие явления бывают даже в электродвигателях заводского исполнения, а после перемотки обмотки на другие обороты на ремонтных предприятиях возможны тем более. Учитывая это, при переделке электродвигателя на другие обороты или подборе ротора, взамен утраченного для обеспечения нормальной работы необходимо производить проверку с учетом двух условий.

Первое условие – сравнение числа пазов ротора с числом пазов статора, отношение чисел пазов ротора к статору не должно быть равно двум, единице или половине:

$$Z_2/Z \neq 2,\ 1 \text{ или } 0{,}5$$

разность между числами пазов ротора и статора не должна быть равна числу пар или числу полюсов:

$$Z_2 - Z \neq p \text{ или } 2p$$

разность между числами пазов ротора и половиной или двойным числом пазов статора не должна быть равна в первом случае числу пар, а во втором – числу полюсов:

$$Z_2 - 0{,}5 \times Z \neq p \text{ или } Z_2 - 2 \times Z \neq 2p$$

Второе условие – сравнение числа пазов ротора с числом полюсов, увеличенных в число, кратное трем, при этом разность между числом пазов ротора и произведением числа полюсов на число кратное трем (ЧКТ), не должна быть равна нулю, числу полюсов или единице.

$$Z_2 - 2p \times \text{ЧКТ} \neq (0),\ 2p,\ 1,\ 2p + 1,\ p + 1.$$

ЧКТ – число, кратное трем – 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 и т. д. принимается таким, чтобы оно в произведении с числом полюсов давало результат, близкий или равный числу пазов ротора. Данные в скобках указывают на возможность прилипания ротора при пуске электродвигателя, подчеркнутые – шум и вибрацию электродвигателя, остальные – застревание ротора.

II. Типы всыпных обмоток трехфазных электродвигателей. соединение схем и образование параллельных ветвей.

6. Основные элементы и параметры обмотки, ее заготовка для укладки.

Эффектный (расчетный) проводник – N, состоящий из одного или нескольких элементарных (параллельных) проводников – $N_э$, расположенных в одном пазе.
Эффективный (расчетный) виток – W, объединяющий два эффективных проводника, расположенных в разных пазах;
Катушка (секция), состоящая из нескольких эффективных витков, стороны которой расположены в двух пазах;
Катушечная (секционная) группа (КГ), состоящая из одной или нескольких катушек (секций), характеризуется числом пазов на полюс и фазу – q и определяется отношением числа пазов статора (Z), к тройному числу полюсов ($2p$×3) для трехфазного электродвигателя.

$$q = \frac{Z}{2p \times 3} = \frac{Z}{p \times 6}$$

Катушечные группы изготовляются (наматываются) равносекционными или с концентрическими секциями, причем последние более трудоемкие при изготовлении, так как при их намотке требуется специальный ступенчатый шаблон, но они надежнее в работе, потому что секции не пересекаются между собой, а лежат в одной плоскости, что также способствует уменьшению лобовой части обмотки.
Каждая катушка (секция) в катушечной группе располагается в пазах статора левой и правой сторонами с определенным шагом (y).
Шаг секции зависит от типа обмотки, числа пазов статора и числа полюсов и имеет двоякое значение.

Первое – расчетный шаг, обозначается одной цифрой, показывающей, какое число зубцов им охватывается (Z). При полных катушечных группах будет диаметральный расчетный шаг (yд), который равен полюсному делению (τ) или тройному числу пазов на полюс и фазу (q), определяется путем деления числа (Z) пазов на число полюсов ($2p$)

$$y_{\text{д}} = \frac{Z}{2p} = 3 \times q = \tau \text{ например: } Z = \frac{36}{2p} = 6, y_{\text{д}} = \frac{36}{6} = 6$$

Второе – шаг по пазам, указывает расположение сторон секций в двух пазах и обозначается двумя цифрами, т. е. левая сторона секции располагается условно в первом пазе, а правая сторона занимает паз на единицу больше расчетного шага, в данном случае:

$$y_{\text{д}} = 6\ (1 - 7) \text{ из первого в седьмой паз.}$$

В зависимости от числа пазов статора и числа полюсов катушечные группы могут иметь от одной до восьми катушек (секций) соединенные промежуточными проводниками. Промежуточные проводники между секциями находятся со стороны схемы и называются межсекционными переходами. Число катушечных групп в фазе зависит от типа обмотки и числа полюсов. Проводники, образующие схему обмотки, называются соединениями между катушечными группами, которые обязательно изолируются специальными трубками.

Три фазы, изолированные друг от друга (состоят из катушечных групп) обозначаются: начала – С1, С2, С3, концы – С4, С5, С6 и соединяются выводами в треугольник (Δ) С4–С2, С5–С3, С6–С1 или в звезду (Y) вместе все концы – С4, С5, С6, или начало фаз – С1, С2, С3, располагаются друг от друга на 120 градусов.
Фазы собираются из разрезных (отдельных) катушечных групп или заготовляются целыми (без паек). В последнем случае между катушечными группами в процессе намотки одеваются изоляционные трубки, общее количество которых в каждой фазе на одну меньше числа катушечных групп. Длина изоляционной трубки равна ширине шага секции.

6. 1. Заготовка обмотки и метод ее укладки. Пооперационная работа при замене обмотки.

При всыпной обмотке корпусная изоляция изготовляется в виде пазовых коробочек, на концах которых для прочности можно заворачивать манжеты, выступающие на 6–15 *мм*. из пазов. Для нормального заполнения пазов проводниками без дополнительного усилия, пазовые коробочки осаживают плотно к стенкам в углах пазов специальными (по размеру паза) оправками или подготовляют заранее с помощью загибалки по форме паза и устанавливают (гильзуют) по двум методам. Первый метод – установка пазовых коробочек под шлиц паза, являющийся более экономичным и производительным, но во время укладки проводников возможны обдиры изоляционной эмали на проводах об края шлицов.

Второй метод – установка пазовых коробочек выше шлица на 3–4 *мм.*, исключает повреждение изоляции проводов, но при этом уменьшается просвет для укладки проводов, затрачивается дополнительное время на обрезку выступающих частей коробочек или на загиб их во внутрь пазов в место подклиновой (верхней) прокладки и так как она получается из двух половин то уменьшает полезную часть паза. Укладку проводов по первому методу можно производить с защитными изоляционными полосками, устанавливаемыми временно на шлицы пазов, но это создает большое неудобство. Толщина корпусной изоляции (пазовых коробочек) в зависимости от мощности электродвигателя указана в таблице 7.

При полузакрытых пазах укладка секций производится через шлиц паза по одному или несколько проводников в зависимости от их диаметра, при этом клиновой пластинкой из фибры (текстолита) необходимо проводить вдоль пазов, устраняя перекрещивание проводников. После установки межсекционных изоляционных прокладок (при любом типе обмоток) необходимо производить уплотнение уложенных (засыпанных) секций в пазах специальным металлическим утюжком, освобождая место для клина.

Для удерживания обмотки в пазах от воздействия центробежной и динамической сил устанавливаются (забиваются) клинья из твердого дерева или специального материала. Клинья должны выходить из пазов на 5–12 *мм.* (в зависимости от габарита электродвигателя), но не должны выступать выше пазов (по расточке статора). Для влагостойкости клинья из дерева провариваются в олифе или трансформаторном масле и просушиваются при температуре 120–140°С в течении 3–4 часов. В мелких электродвигателях можно вместо клина применять жесткие полоски из изоляционных материалов толщиной 0,5–1 *мм*.

Как в процессе укладки катушечных групп и установки между ними изоляционных прокладок, так и после расклинивания обмотки, ее лобовые части ударами молотка через деревянную или фибровую подбивку осаживают и отгибают в сторону от расточки статора, при этом соблюдается осторожность, не допуская разрыва изоляционных пазовых коробочек на выходе из пазов. Осадку и формовку лобовых частей обмотки удобнее производить резиновым молотком, если позволяет расточка статора для ударов.

Для скрепления проводников катушечных групп и удерживания между ними изоляционных прокладок лобовые части обмотки увязывают (бандажируют) лентой или шнур–чулком с помощью специального крючка–иголки из стальной проволоки.

Образовывая схему обмотки концы проводников катушечных групп и выводов зачищают от изоляции, скручивают между собой и сваривают при помощи специального держателя с угольным стержнем диаметром от 6 до 15 *мм*. питающегося от трансформатора напряжением 36–50 вольт. Места соединения сваркой изолируются трубками, предварительно одетыми на провода и сдвинутыми в сторону в момент сварки.

Заготовка обмотки (намотка секций) производится намоточным станком на шаблонах, которые обычно вращаются по часовой стрелке. В процессе намотки одна сторона каждой секции (для скрепления витков) временно перевязывается мягкой проволокой, следовательно, в начале укладываются не перевязанные стороны секций. В случае несоответствия увязанных сторон секций с укладкой, это можно исправить путем переворота заготовленной всей фазы или разрезной катушечной группы, от чего укладка их не изменяется.

Намотку секций производят с конца или основания шаблонов, от чего зависит метод укладки обмоток в пазы статора. Схему обмотки можно располагать справа или слева статора, но для удобства работы правой рукой отдают предпочтение первому, поэтому отверстие для выводов обмотки на корпусе статора должно быть справа по отношению к исполнителю. Заготовленная обмотка размещается справа концами к статору, что позволяет свободно отделять поочередно каждую секцию и (развернув) укладывать в пазы статора.

Если намотка секций производилась с конца шаблонов, то обмотка должна укладываться против часовой стрелки (снизу–вверх от себя) и называется правой обмоткой, а если намотка – с основания шаблона, то укладка – по часовой стрелке (снизу–вверх на себя) и называется левой обмоткой (если смотреть со стороны схемы). Метод выполнения обмотки зависит от навыка и привычки на каждом ремонтном предприятии. Правая обмотка имеет преимущество, так как нумерация пазов и катушечных групп совпадает на схемах в каталогах и учебной литературе, что облегчает выполнение сложных обмоток.

На рис. 3 приведены три схемы для $Z = 36$, $q = 2$, $2p = 6$, $y_Д = 6$ (1 – 7), с заготовкой секции с конца шаблона, но с различной укладкой.
Равносекционная обмотка считается правильно уложенной в пазы статора, когда в катушечных группах вывода (начальный и концевой) располагаются на наружной их части (рис. 3 *а*).

Концентрические обмотки в катушечных группах имеют начало на наружной части, а конец – на внутренней части, поэтому не зависят от правила заготовки и укладки, тогда как несоблюдение этих правил для равносекционных обмоток приводит к тому, что вывода (начало и концы) катушечных групп расположатся на внутренней их части. Это не изменяет магнитоэлектрических характеристик электродвигателя, но приводит к серьезным нежелательным явлениям.

Во–первых, при укладке любого типа равносекционной обмотки увеличиваются межсекционные переходы на два паза, в результате чего провода между секциями оказываются короткими, поэтому после укладки первой секции для каждой последующей подтягивают последний виток, который смещается со своего начального места и, пересекаясь с другими (чужими) витками, оказывается под большим потенциалом (напряжением), увеличивая возможность возникновения виткового замыкания, что способствует снижению надежности работы электродвигателя (рис. 3 *б*, *в*).

Во–вторых, если для двухслойной и однослойной "в развалку" равносекционных обмоток расположение выводов внутри катушечных групп не влияет на соединение схемы, то в однослойной равносекционной обмотке между катушечными группами соединения удлиняются: при разрезных катушечных группах до $2q$ (рис. 3 *б*) и с целыми фазами – значительно больше (рис. 3 *в*).
В результате этого, допустим, при $q = 2$, $2p = 6$ на соединение схемы перерасходуется изоляционная трубка и обмоточный провод соответственно в 1,4 и 3,4 раза. Для тихоходных электродвигателей $2p = 8, 10, 12$ и т. д. перерасход материалов возрастает за счет увеличения количества КГ.

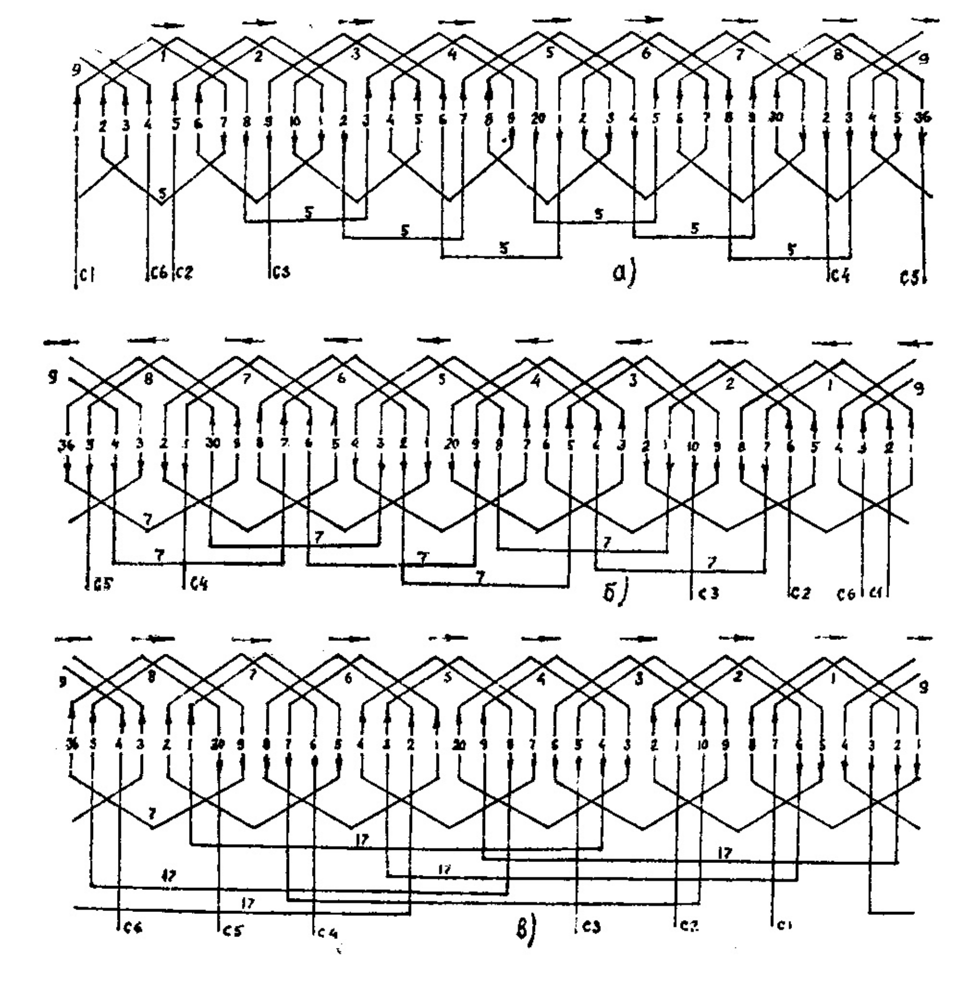


Рис. 3. Соединение КГ в зависимости от их укладки
Z = 36, 2p = 6, q = 2, y = 6 (1 –7), КГ = 9.
а) правильная укладка обмотки разрезными КГ и целыми фазами
б) не правильная укладка обмотки разрезными КГ.
в) не правильная укладка обмотки целыми фазами.

7. Однослойная обмотка.

В однослойной обмотке стороны катушек (секций) катушечных групп располагаются рядом и занимают каждый паз полностью.

7. 1. Однослойная обмотка с целым числом пазов на полюс и фазу.

Такая обмотка выполняется полными (сосредоточенными катушечными группами в лобовой части) с равными (рис. 4) или концентрическими секциями диаметрального шага (рис. 5). Для однослойной равносекционной обмотки диаметральный шаг для всех секций одинаков, а для концентрической обмотки диаметральный шаг (по расчету) можно получить только средний.

При концентрической обмотке шаг по пазам для каждой секции определяется по расчетному шагу. Левые стороны секций располагаются в пазах статора 1, 2, 3, 4 и т. д. Правая сторона большой секции располагается в пазе на расстоянии диаметрального шага в сумме с числом пазов на полюс и фазу.

$$y_1 = y_Д + q$$

Стороны меньших секций с шагом y_2, y_3, y_4 и т. д. располагаются в соответствующих пазах рядом внутри большой секции (на один паз меньше).

Однослойные равносекционные и концентрические обмотки (с полным числом пазов на полюс и фазу) выполняются с четным и нечетным количеством секций в катушечных группах для $2p$ = 4, 6, 8 и т. д. На схемах (рис. 4) для равносекционной обмотки диаметральный шаг и (рис. 5) для концентрической обмотки средний диаметральный шаг одинаковы – $y_Д = y_{СР}$ = 12, а шаги по пазам различны. Электрические характеристики для обеих обмоток равноценны.
Несмотря на то, что для $2p$ = 2, однослойная обмотка, (с полным числом секций в катушечных группах) теоретически выполнима, на практике не применяется из–за большого шага, а укладывается "в развалку", при которой шаг уменьшается на 0,5 × q.

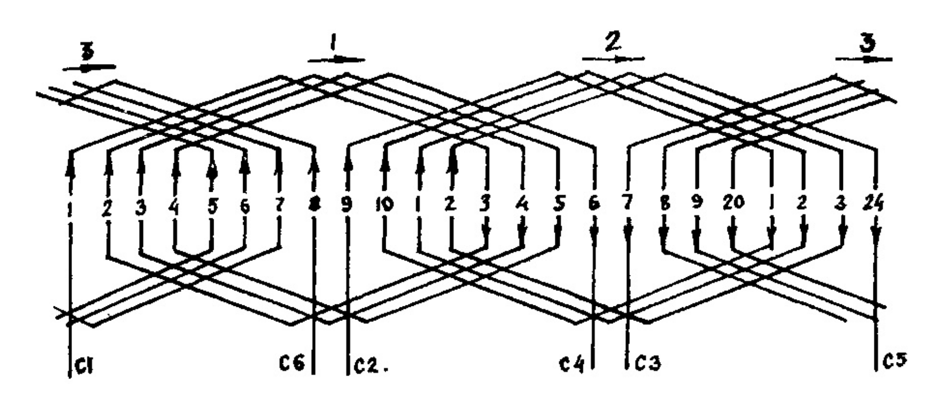


Рис. 4. Схема однослойной равносекционной обмотки
Z = 24, $2p$ = 2, q = 4, y = 12 (1–13), КГ = 3.

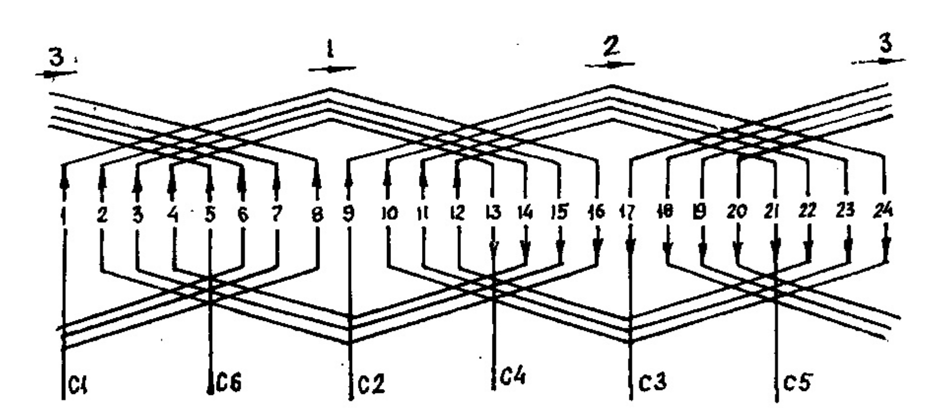


Рис. 5. Схема однослойной концентрической обмотки
Z = 24, КГ = 3, $2p$ = 2, q = 4, y_1 = 15 (1 – 16), y_2 = 13 (2–15), y_3 = 11 (3 – 14),
y_4 = 9 (4 – 13) (не применяется)

7. 2. Однослойная обмотка "в развалку".

Если в однослойной обмотке в катушечных группах разделить секции на две части и стороны их разместить рядом в фазах, то такая обмотка называется однослойной "в развалку" (рис. 6, 7). При "развалке" шаг между сторонами секций уменьшается на число пазов, равных числу секций "развалки". Несмотря на то, что ширина между сторонами секций уменьшается, обмотка считается диаметральной, так как средний шаг остается равным полюсному делению (τ).
В однослойной равносекционной обмотке "в развалку" при четном числе пазов на полюс и фазу расчетный шаг равен диаметральному шагу за минусом секций в "развалке"

$$y_{раз} = y_Д - 0{,}5 \times q \text{ (рис. 6).}$$

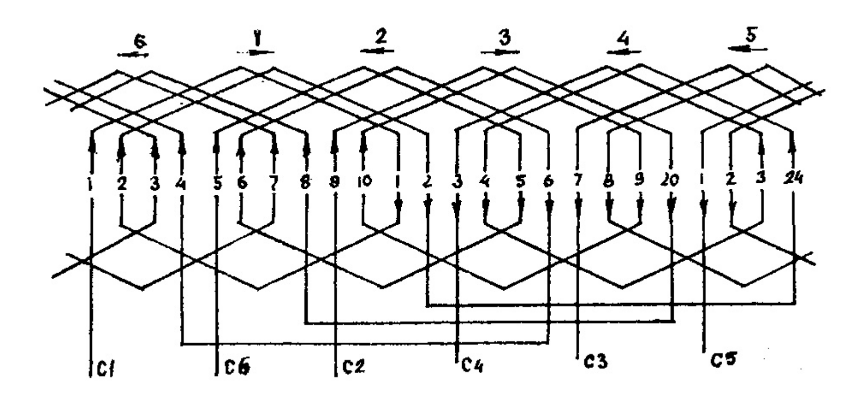


Рис. 6 Схема однослойной равносекционной обмотки "в развалку"
КГ = 6, Z = 24, 2p = 2, q = 4 = 2 + 2, y = 10 (1 – 11).

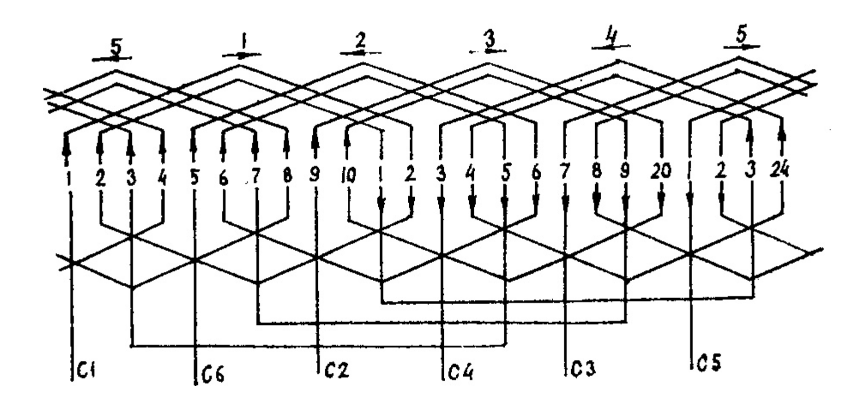


Рис. 7. Схема однослойной концентрической обмотки "в развалку"
КГ = 6, Z = 24, 2p = 2, q = 4 = 2 + 2, y_1 = 11 (1 – 12), y_2 = 9 (2 – 10).

В однослойной концентрической обмотке "в развалку" при четном числе пазов на полюс и фазу шаг по пазам определяется по диаметральному шагу. Левые стороны секций "развалки" укладываются в пазы 1, 2, 3 и т. д. Правая сторона большой секции попадает в паз, равный диаметральному (расчетному) шагу – y_1 = (1 – $y_Д$) (рис. 7). Меньшие секции располагаются рядом внутри.

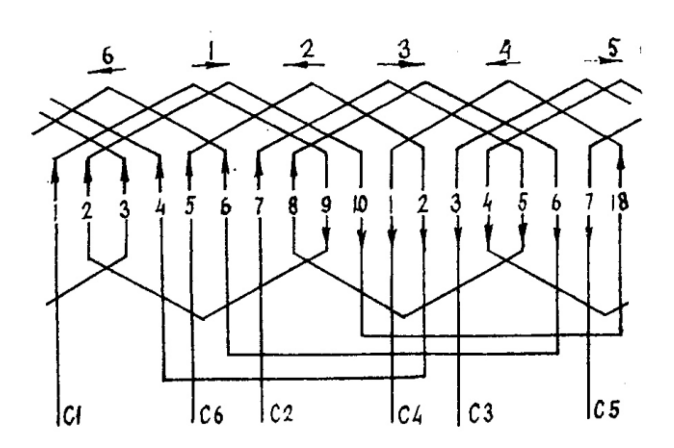


Рис. 8. Схема однослойной равносекционной обмотки "в развалку"
с нечетным q = 3 = 2 + 1, Z = 18, 2p = 2, y = 8 (1 – 9) и 7 (1 – 8), КГ = 6.

При нечетном числе пазов на полюс и фазу обмотка "в развалку" имеет половину катушечных групп с четным числом и половину – с нечетным числом секций, при этом шаг секций будет разный. Обмотка "в развалку" выполняется равносекционной (рис. 8) или концентрической (рис. 9).

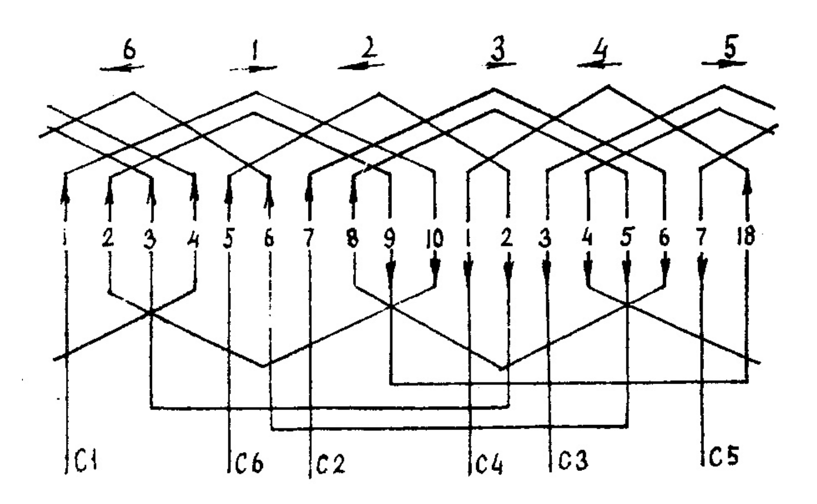


Рис. 9. Схема однослойной концентрической обмотки "в развалку"
с нечетным q = 3 = 2 + 1, Z = 18, 2p = 2, y_1 = 9 (1 – 10), y_2 = 7 (2 – 9), 7 (1 – 8), КГ = 6.

С нечетным числом пазов на полюс и фазу однослойную обмотку "в развалку" можно выполнить комбинированной концентрическими секциями, с расчесанной секцией при q = 3 = 1,5 + 1,5 или при q = 5 = 2,5 + 2,5. В каждой катушечной группе по одной секции делят пополам (расчесывают), располагая их внутри катушечных групп по отношению к полным секциям, при этом каждая сторона полусекции занимает половину паза (рис. 10, 11) (Все катушечные группы одинаковы.)

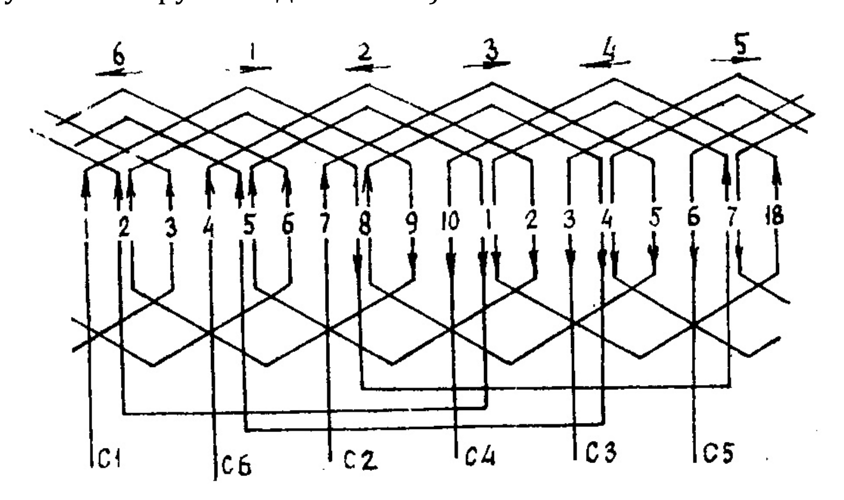


Рис. 10. Схема однослойной концентрической обмотки "в развалку" с расчесанной секцией (комбинированная обмотка),
КГ = 6, с нечетным q = 3 = 1,5 + 1,5, y_1 = 8 (1 – 9), y_2 = 6 (2 – 8), Z = 18, 2p = 2.

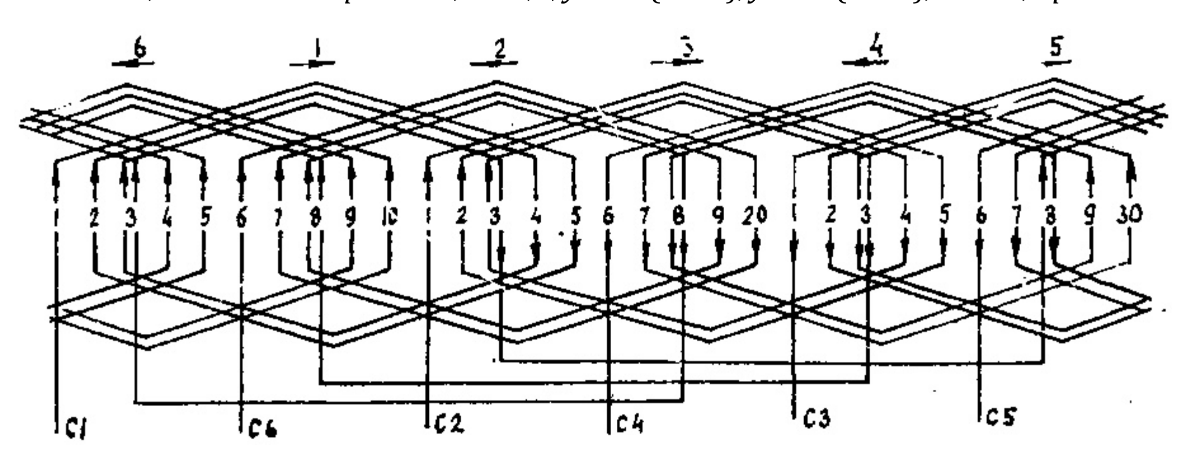


Рис. 11. Схема однослойной концентрической обмотки "в развалку" с расчесанной секцией (комбинированная обмотка) с не четными q = 5 = 2,5 + 2,5, Z = 30, 2p = 2, y_1 = 14 (1 – 15), y_2 = 12 (2 – 14), y_3 = 10 (3 – 13), КГ = 6

7. 3. Однослойная обмотка с дробным числом пазов на полюс и фазу.

Дробное число означает, что одни катушечные группы имеют число секций, равное целому числу, а другие – на одну больше. Величина дроби определяет количество больших катушечных групп, а остальная часть дроби до целого числа определяет количество малых катушечных групп (от общего количества катушечных групп обмотки).

Однослойная обмотка с дробным числом пазов на полюс и фазу состоит из равных частей (периодов) одинакового чередования больших и малых катушечных групп, с количеством каждой в зависимости от величины дроби. Общее число периодов чередования в обмотке определяется количеством всех катушечных групп в обмотке, поделенное на число катушечных групп в одном периоде чередования (знаменатель).

Знаменатель дроби указывает количество всех катушечных групп, а числитель – количество больших катушечных групп в одном периоде чередования. Число малых катушечных групп в одном периоде чередования равно числу всех катушечных групп без больших (разница между числами – знаменателя и числителя), см. рис. 12, 13. Например, при $Z = 48$ и $2p = 10$, $q = 1\frac{3}{5}$, значит, на рис. 12 КГ должны иметь по одной и по две секции. Количество катушечных групп в фазе равно числу пар полюсов КГФ = 5, а всей обмотке – КГ = 5 × 3 = 15, из них двоек будет – 3/5 × 15 = 9, а единиц – 2/5 × 15 = 6. Число периодов будет 15/5 = 3. В одном периоде чередования всех катушечных групп будет 5 (знаменатель), из них двоек будет 3 (числитель) и единиц будет 5 – 3 = 2. Порядок чередования в каждом периоде больших и малых катушечных групп зависит от величины дроби.

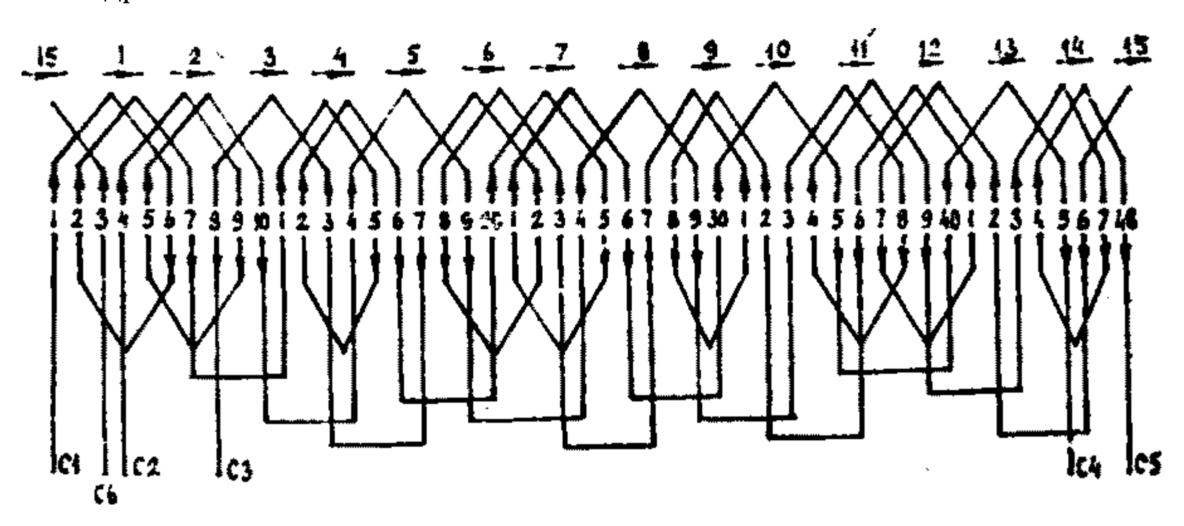


Рис. 12. Схема однослойной разносекционной обмотки с дробным $q = 1{,}6 = 1\frac{3}{5} = 1$ и 2, КГ = 15, $Z = 48$, $2p = 10$, $y = 5$ (1 – 6) и 4 (1 – 5).

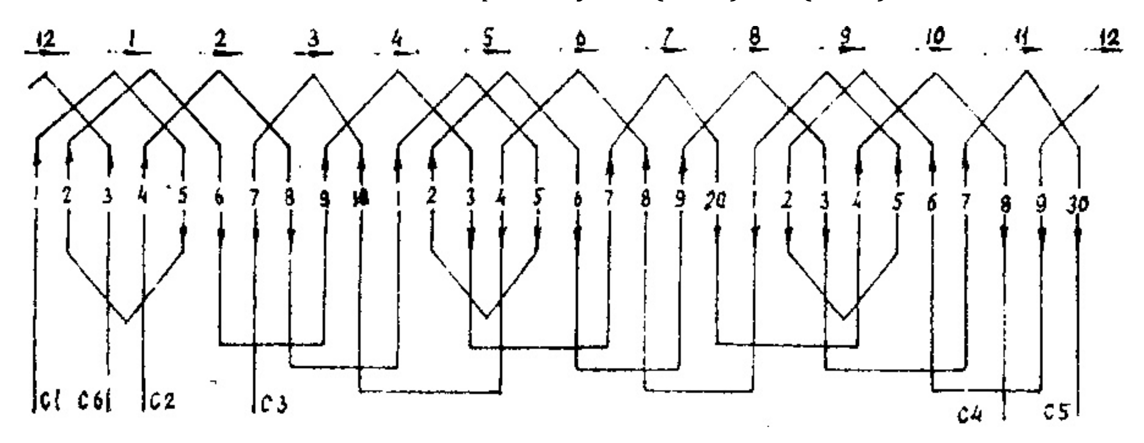


Рис. 13. Схема однослойной разносекционной обмотки с дробными $q = 1{,}25 = 1\frac{1}{4} = 1$ и 2, $Z = 30$, $2p = 8$, $y = 4$ (1 – 5) и 3 (1 – 4), КГ = 12.

Если числитель дроби равен единице или на единицу меньше знаменателя 1/2, 1/4, 1/5, 1/8, 1/10, 3/4, 4/5, 7/8, 9/10, то порядок чередования безразличен. С каких начинать укладку – с больших или меньших катушечных групп (по порядку больших, а потом малых или наоборот) не имеет значения (рис. 13).
Если дробь имеет сложную величину 2/5, 3/5, 3/6, 3/10, 5/8, 7/10 (рис. 12), то порядок чередования можно определить с помощью составления клеточной таблицы. По горизонтали идут клетки с количеством равным числу всех катушечных групп в одном периоде чередования (знаменатель), а по вертикали – клетки с количеством равным числу больших катушечных групп (числитель) Любое чередование из трех (по горизонтали) будет правильным после заполнения клеток по вертикали сверху вниз, начиная слева сначала большими, а потом малыми катушечными группами по периодам. Начертим клетки и заполним их, проиллюстрировав примером (рис. 12):

2	1	2	1	2
2	1	2	2	1
2	2	1	2	1

Все три порядка чередования по существу одинаковы, только начинаются с больших катушечных групп разного размещения, это говорит о том, что укладку можно начинать с любой катушечной группы, но продолжать, как указано в пределах периода, и повторять снова по круговороту. Например, правильное чередование будет, если в верхней строке начнем с первой единицы – 1 2 1 2 2, 1 2 1 2 2, 1 2 1 2 2.

Помимо приведенных дробных чисел пазов на полюс и фазу встречаются дробные числа со знаменателем, равным трем, но при этой дробности получается значительно большая несимметричность обмоток, поэтому наши заводы не выпускают таких электродвигателей. Это возможно при $2p = 6$ и $Z = 24, 48, 60$, когда $q = 1\frac{1}{3}, 2\frac{2}{3}, 3\frac{1}{3}$.
Порядок чередования укладки должен быть таким, чтобы в каждой фазе располагалось одинаковое количество больших и малых катушечных групп: в первом случае чередование будет 2 1 1, 1 2 1, 1 1 2; во втором – 2 3 3, 3 2 3, 3 3 2; в третьем – 4 3 3, 3 4 3, 3 3 4.

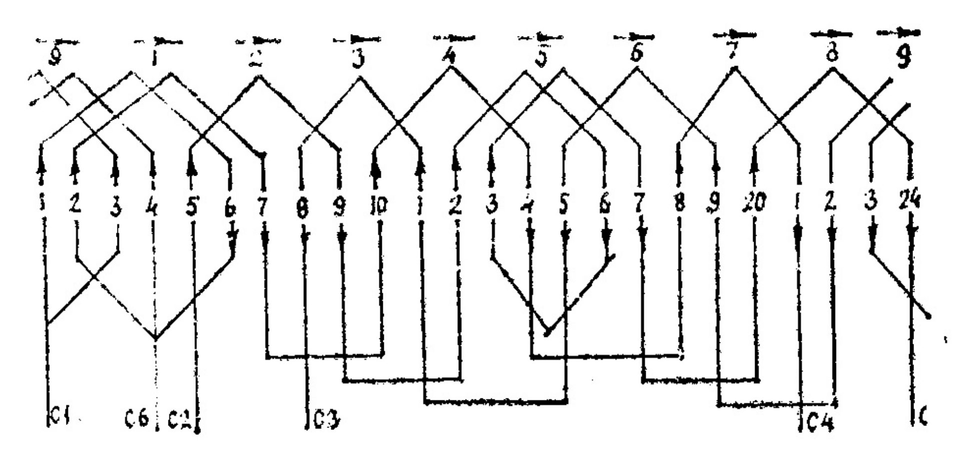


Рис. 14. Схема однослойной разносекционной обмотки,
КГ = 9, с дробным $q = 1{,}3 = 1\frac{1}{3} = 1$ и 2, $Z = 24$, $2p = 6$, $y = 5$ (1 – 6) и 4 (1 – 5) и 3 (1 – 4).

Практика показала, что в единичных случаях замену обмотки можно производить и на такие параметры. Электродвигатели работают нормально, как и с любым другим дробным числом пазов на полюс и фазу (рис. 14).
В однослойных обмотках с дробным числом пазов на полюс и фазу несмотря на то, что катушечные группы имеют разное число секций, они считаются все полными (сосредоточенными в лобовых частях) и могут выполняться равносекционными или концентрическими. При наличии катушечных групп с разным числом секций шаги их будут различны, что усложняет выполнение обмотки.

С дробным числом пазов на полюс и фазу q = 1,5 и q = 2,5 полными секциями при нечетном общем количестве малых и больших катушечных групп однослойные обмотки невыполнимы. Это бывает, когда электродвигатель предусмотрен шестиполюсным $2p$ = 6, а статор имеет число пазов Z = 27 или Z = 45.
Так как общее количество больших и малых катушечных групп имеет нечетное число КГ = 9, то в этом случае при укладке обмотки в статоре остается свободным паз или одного паза не хватает. Зависит это от того, каких катушечных групп будет больше – малых или больших. При этих параметрах обмотку можно выполнить с полусекциями: при Z = 27 – полными катушечными группами q = 1,5 (рис. 15), а при Z = 45 или полными катушечными группами q = 2,5 (рис. 16) или "в развалку" q = 2,5 = 1 + 1,5 (рис. 17). Такие обмотки подобны одно– двухслойным, но так как они имеют диаметральный шаг, но ближе к обмоткам комбинированным с расчесанной секцией, как на рис. 10, 11 и называть их можно однослойными обмотками с полусекцией или полутораслойными.
В однослойных обмотках "в развалку" с целым или дробным числом пазов на полюс и фазу стороны секций и полусекций считаются рядом в одной своей фазной зоне, несмотря на то, что у полусекций стороны находятся в одном пазе. Однослойная обмотка "в развалку" в сравнении с простой однослойной позволяет экономить 3–5 процентов обмоточного провода, тогда как все электрические и магнитные характеристики их остаются одинаковыми.

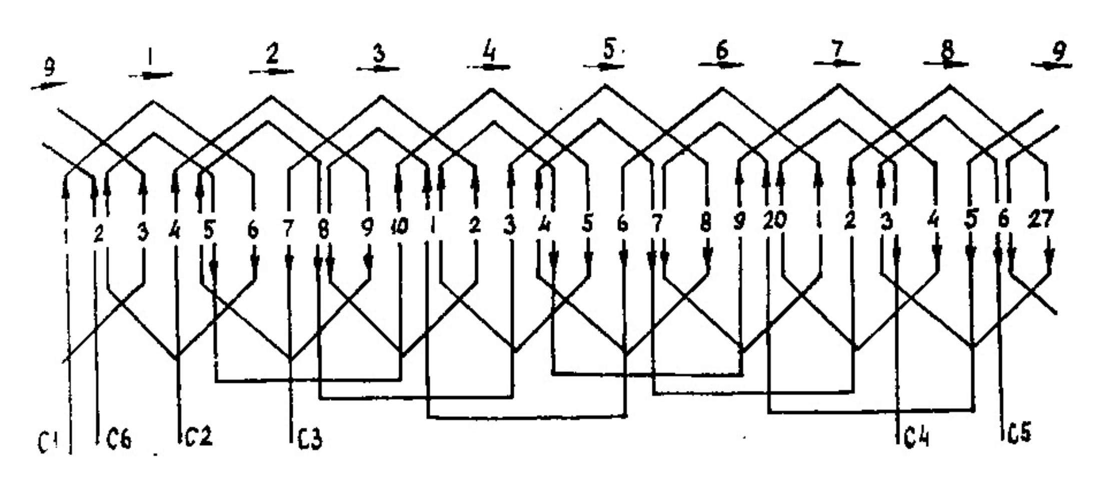


Рис. 15. Схема однослойной с наличием полу секции (полутораслойной) концентрической обмотки с дробным $q = 1{,}5 = 1\frac{1}{2}$, $2p = 6$, $Z = 27$,
$y_1 = 5$ (1 – 6), $y_2 = 3$ (2 – 5), КГ = 9.

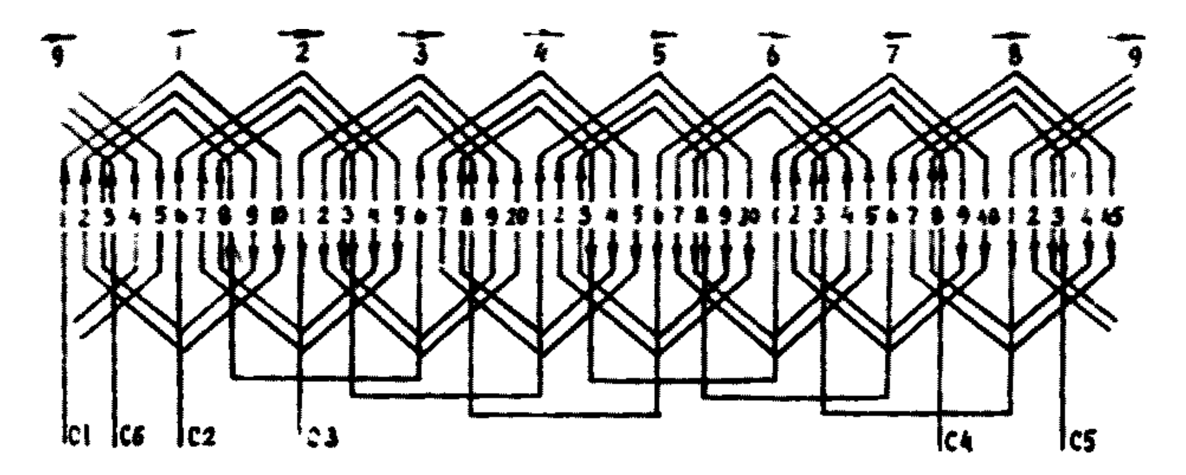


Рис. 16. Схема однослойной с наличием полусекции (полутораслойной) концентрической обмотки с дробным $q = 2{,}5 = 2\frac{1}{2}$, $Z = 45$, $2p = 6$, КГ = 9,
$y_1 = 9$ (1 – 10), $y_2 = 7$ (2 – 9), $y_3 = 5$ (3 – 8).

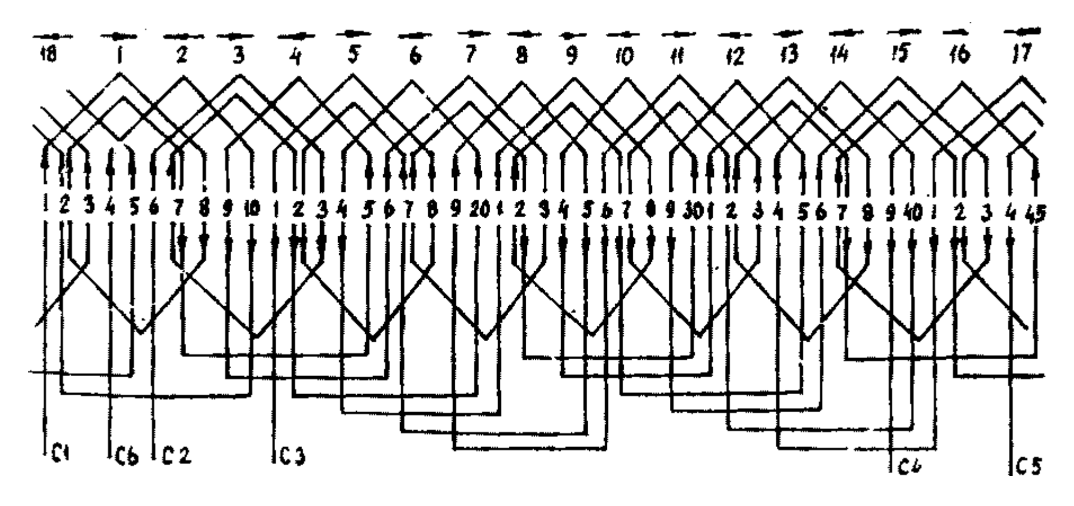


Рис. 17. Схема однослойной концентрической обмотки с наличием полусекции (полутораслойной) "в развалку" с дробным q = 2,5 = 1 + 1,5, Z = 45, $2p$ = 6, КГ = 18, y_1 = 7 (1 – 8), y_2 = 5 (2 – 7) и y = 6 (1 – 7).

7. 4. Распределение обмотки по пазам.

Переменный ток, протекая по обмотке, создает магнитный поток, который более эффективен при синусоидальной форме кривой. Так как одновременно возникают нечетные гармоники (а при дробном q и четные), то происходит искажение основной (первой) кривой магнитного потока, что ведет к дополнительным потерям. На рис. 18 *а* приведены кривые магнитного потока: A – кривая с наличием гармоник (седлообразная); V = 1 – кривая без воздействия гармоник (синусоидальная); V = 3, 5, 7 – кривые нечетных гармоник.

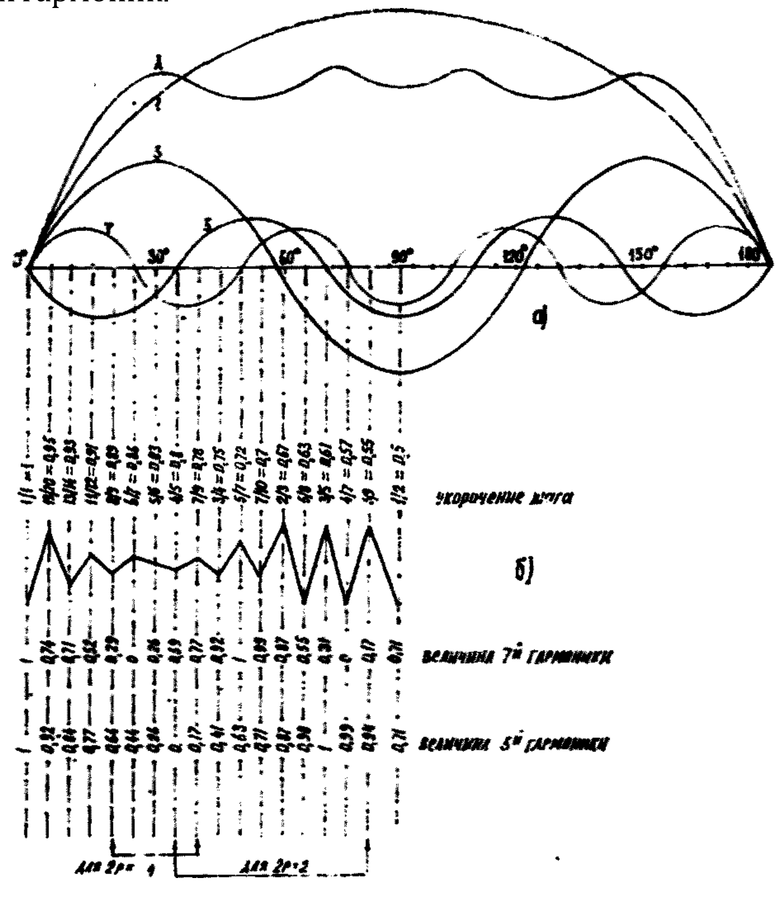


Рис. 18. Влияние нечетных гармоник на основную кривую магнитного потока:
а) распределение магнитного потока в воздушном зазоре,
б) совмещенная кривая относительно воздействия нечетных гармоник на основной магнитный поток в зависимости от укорочения шага обмотки.

В однослойной диаметральной обмотке при q = 1 нечетные гармоники оказывают полное вредное влияние на основную кривую магнитного потока, так как коэффициент распределения обмотки $K_{\text{Р}}$ 1, 3, 5, 7 = 1. За счет распределения обмотки с увеличением числа пазов на полюс и фазу уменьшаются все нечетные гармоники. Их величина определяется коэффициентом распределения обмотки:

$$K_{\text{р}V3,5,7} = \frac{0{,}5}{V \times q \times \frac{\sin 30^o}{q}}$$

При q = 2 – 8 все нечетные гармоники, в том числе 5–я и 7–я, уменьшаются до 0,259 – 0,141, а 3–я – до 0,707 – 0,644, тогда как основной магнитный поток уменьшается незначительно – до 0,966 – 0,956. Увеличение числа пазов на полюс и фазу обычно предусматривается заводами–изготовителями за счет увеличения пазов статора, а при ремонте электродвигателя с заменой обмотки за счет уменьшения числа полюсов статора, например, имеет Z = 72, сечение спинки у него предусмотрено на $2p$ = 6, но выполнен на $2p$ = 8, q = 3. При необходимости, пересчитывая обмотку на $2p$ = 6, получим q = 4, а значит, улучшенную кривую магнитного потока.
Чем больше ширина нечетных гармоник, тем большее вредное влияние оказывается на основную кривую магнитного потока. Поэтому в первую очередь стремятся их уничтожить.

Трехфазную обмотку можно выполнить с фазной зоной в 60 или в 120 электрических градусов, но обычно берется первая – 60 градусов, так как в этом случае получается лучший (больший) коэффициент распределения обмотки, поэтому требуется в 1,15 раза меньшее число витков в фазе. Расход провода при этом снижается на 15 процентов. Трехфазная обмотка с 60–градусной фазной зоной обладает свойством, при котором 3–я гармоника не проявляется (уничтожается) включением обмотки в звезду или треугольник, но предпочтение имеет звезда, так как в этом случае напряжение фаз и ЭДС 3–й гармоники имеют противоположные знаки и направлены друг другу навстречу.

При включении обмотки в треугольник для ЭДС 3–й гармоники образуется замкнутая цепь, в которой циркулирует ток тройной частоты, и ЭДС уравновешивается (уничтожается) падением напряжения сети за счет сопротивления цепи, в результате чего из–за нагревания обмотки возникают дополнительные потери, уменьшается КПД электродвигателя. Наличие скоса пазов в статоре позволяет незначительно улучшить кривую магнитного потока и уменьшить вредное влияние зубцовых гармоник на кривую пускового момента.
Несмотря на все принимаемые меры, при однослойной обмотке нельзя добиться синусоидальной формы кривой магнитного потока, а значит, и улучшения технических характеристик электродвигателя.

8. Цепная обмотка.

Эта обмотка выполняется, как и однослойная равносекционная "в развалку", но отличие состоит в том, что стороны секций в катушечных группах располагаются не рядом, а заходят друг за друга через одну (подобно звеньям цепи), рис. 19. При таком расположении часть сторон секций попадает в чужие зоны, что позволяет производить укорочение шага, поэтому цепная обмотка считается как бы промежуточной между однослойной и двухслойной.

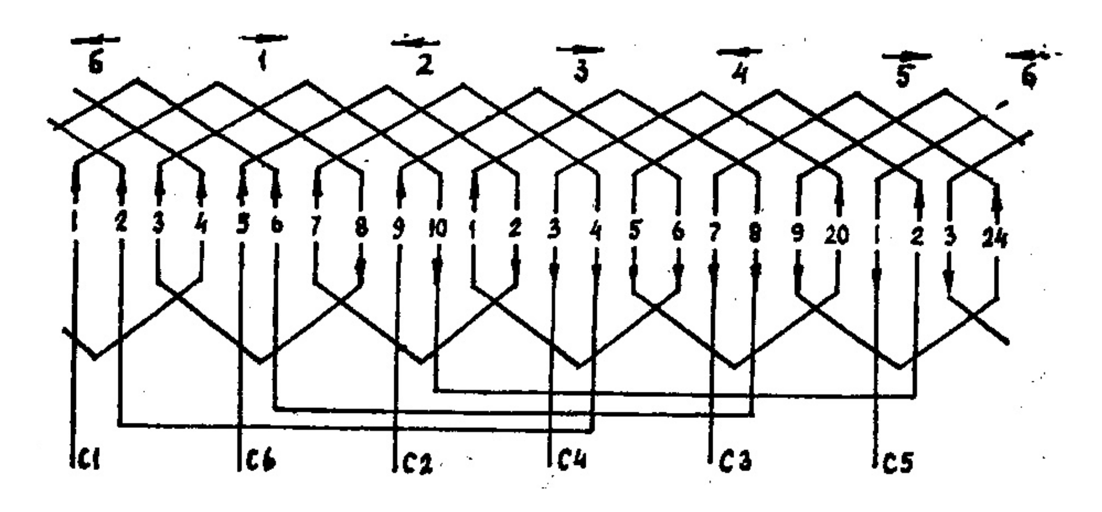


Рис. 19. Схема цепной обмотки $Z = 24$, $2p = 2$, $q = 4 = 2 + 2$, $y = 7$ (1 – 8), КГ = 6.

Одновременно с равноценным качеством она обладает преимуществами и недостатками двухслойной обмотки. Равноценность – наличие одинакового количества катушечных групп и эффективных проводников в пазе статора, равный расход обмоточного провода, равнозначные коэффициенты укорочения шага и характеристики, а также приблизительно одинаковый вылет лобовой части обмотки.

Преимущества – имеет в 2 раза меньшее количество секций, лучшее заполнение пазов проводом и уменьшенный расход изоляционного материала, так как стороны секций занимают полностью пазы, при этом не требуются межсекционные пазовые прокладки, отсутствует необходимость выполнения обмотки с закрытым шагом, что одновременно снижает трудоемкость.

Недостатки – укороченный шаг может быть принят только нечетным, число пазов статора должно быть кратным шести. При нечетном и дробном числе пазов на полюс и фазу образуется несимметричное магнитное поле, чего необходимо избегать, кроме того лобовая часть обмотки толще.
Несмотря на преимущества, наличие недостатков ограничивает применение цепной обмотки по сравнению с двухслойной, поэтому она встречается в старых типах двигателей, а ремонтники применяют ее только всыпной, в основном для двигателей на 3000 *об. мин.*, взамен двухслойной с нечетным укороченным шагом, с целью повышения производительности труда.

9. Двухслойная обмотка.

9. 1. Двухслойная равносекционная и концентрическая обмотка.

Как и в однослойной, двухслойная обмотка имеет одинаковую фазную зону, стороны секций (катушек) располагаются рядом. Так, как секции заготовляются в половину меньшим числом витков, то количество катушечных групп будет в два раза больше (рис. 20, 21). Двухслойная обмотка выполняется равносекционной или концентрической и после укладки в пазы статора представляет как бы две обмотки с верхним и нижним слоями, которые при диаметральном шаге располагаются в одних и тех же пазах, а при укороченном шаге сдвинуты относительно друг друга, за счет чего некоторые стороны секции катушечных групп заходят в пазы чужих фазных зон.

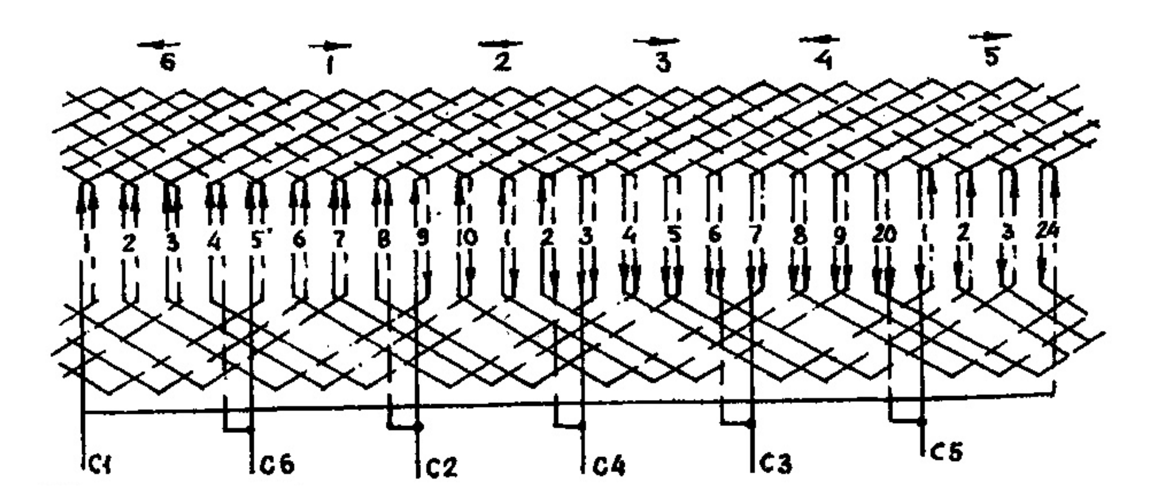


Рис. 20. Схема двухслойной равносекционной обмотки
$Z = 24$, $2p = 2$, $q = 4$, $y = 8$ (1 – 9), КГ = 6, $a = 2$

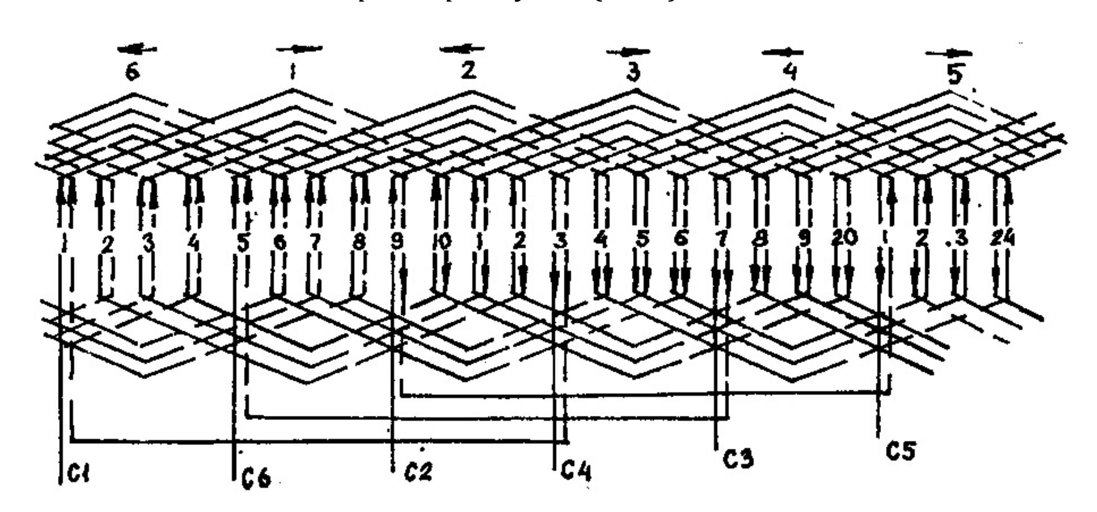


Рис. 21. Схема двухслойной концентрической обмотки КГ = 6, $Z = 24$, $2p = 2$, $q = 4$,
$y_1 = 11$ (1 – 12), $y_2 = 9$ (2 – 11), $y_3 = 7$ (3 – 10), $y_4 = 5$ (4–9).

Как в однослойной обмотке, так и в двухслойной, распределением обмотки можно только уменьшить вредное влияние нечетных гармоник. Для полного их уничтожения производят укорочение шага – $уу = \beta \times уд$, за счет чего улучшается кривая магнитного потока. Практическое укорочение шага (β) есть отношение фактического укороченного шага ($у$у) к диаметральному ($у$д). Так как 3–я гармоника уничтожается включением обмотки в звезду или треугольник, то остаются более сильно влияющие на искажение кривой поля 5–я и 7–я гармоники по сравнению с малыми нечетными и всеми четными гармониками.

Теоретически полное уничтожение любой гармоники достигается укорочением шага на одну ее часть, для 5–й, $\beta = 4/5 = 0{,}8$; при этом 7–я уменьшается до 0,59, а для 7–й, $\beta = 6/7 = 0{,}96$; 5–я при этом уменьшается до 0,44. Среднее укорочение $\beta = 5/6 = 0{,}83$; при котором обе гармоники уменьшаются до 0,26.

Даже при несинусоидальной форме кривой напряжения сети за счет укорочения шага обмотки в электродвигателе кривая магнитного потока приближается к синусоидальной форме, что улучшает его характеристики, в том числе и пусковую. Для электродвигателей $2p \geqq 4$ наивыгоднейшее укорочение шага обмотки находится в пределах от $\beta = 6/7 = 0{,}86$ до $\beta = 4/5 = 0{,}8$. Но практически при конструировании обмотки такое укорочение шага возможно только при числе пазов на полюс и фазу q = 1,25 – 2 – 2,5 – 4 и 5.

Если число пазов на полюс и фазу q = 1,5, 2,25 и 3, то из–за соотношения количества пазов статора и числа полюсов укорочение шага обмотки в пределах β = 0,86 – 0,8 получить вообще невозможно, поэтому при $2p \geqq 4$ выпускают электродвигатели со значительно расширенным диапазоном укорочения шага от β = 8/9 = 0,89 до β = 7/9 = 0,78. В этом случае нечетные гармоники уменьшаются: при укорочении шага β = 0,89 – 5–я до 0,64 и 7–я до 0,29, а при укорочении шага β = 0,78 – 5–я до 0,17 и 7–я до 0,77. Такое укорочение является менее эффективным. В этом случае характеристики улучшаются незначительно, но все же обеспечивается нормальная работа электродвигателей.

Из кривой совмещенных 5–й и 7–й гармоник (рис. 18 б) видно, что наивыгоднейшей точкой укорочения является β = 5/6 = 0,833, а при отклонении в обе стороны на одну и ту же величину укороченного шага постепенно (приблизительно одинаково) кривая магнитного потока ухудшается, так как воздействие 5–й и 7–й гармоник увеличивается. Это можно выразить так: от укорочения шага попарно одного или другого значения (0,86 или 0,8), (0,89 или 0,78) и так далее 5–я и 7–я гармоники на кривую магнитного потока оказывают одинаково нарастающее воздействие, но с противоположными знаками, при этом обмоточные коэффициенты их будут различны по величине.

Учитывая изложенное, в электродвигателях с числом пазов на полюс и фазу q = 3, заводы принимают укорочение шага или β = 8/9 = 0,89, или β = 7/9 = 0,78, выбор зависит от величины обмоточного коэффициента, при котором расчетное число эффективных проводников будет целым или близким к нему.
При дальнейшем отклонении укорочения шага в обе стороны от 0,89 или 0,78 эффективность почти исчезает, а при укорочении шага β = 2/3 = 0,67, так же, как и при диаметральном шаге (β = 1), 5–я и 7–я гармоники оказывают полное вредное влияние на кривую магнитного потока, тогда как укорочение шага β = 2/3 = 0,67 полностью уничтожает третью гармонику и гармоники, кратные ей.

Величина амплитуды любой гармоники ($y_{3,\ 5,\ 7}$), как и основной кривой магнитного потока (V_1) при укорочении шага на величину (β), определяется обмоточным коэффициентом укорочения (K_{yV}):

$$K_{yV} = V \times \sin\beta \times 90° = V \times sin \times \left(y_у \times \frac{90^o}{У_Д}\right) = V \times sin \times \left(y_у \times \frac{30^o}{q}\right)$$

Относительное воздействие гармоник (ОВГ) на основную кривую магнитного потока при укорочении будет ОВГ = K_{yV}/K_V. Общий обмоточный коэффициент $K_{PyV} = K_{PV} \times K_{yV}$.
Для электродвигателей $2p$ = 2 укорочение шага принимается в пределах от β = 5/6 = 0,83 до β = 5/9 = 0,55, при этом чем большая мощность электродвигателя, тем короче принимается шаг обмотки. Так, при $2p$ = 2 с Z = 36 заводы принимают $y_у$ = 11, 12, 13, 14, 15.
Из применяемых укороченных шагов видно, что при $2p$ = 2 в большинстве случаев действие 5–й и 7–й гармоник не принимается во внимание, за исключением некоторых мелких электродвигателей. Связано это с тем, что, во–первых, при $2p$ = 2 невозможно образовать в обмотке более двух параллельных ветвей, поэтому для уменьшения сечения обмоточного провода в электродвигателях большей мощности рассчитывают обмотку соединением фаз в треугольник, при котором 3–я гармоника значительно снижает коэффициенты полезного действия (КПД) из–за потерь в меди. Для ее уничтожения принимается укорочение шага β = 2/3 = 0,67 или близкое к этому. Во–вторых, если фазы соединяются в звезду, при которой отсутствуют потери в меди от 3–й гармоники, то при укорочении 0,86–0,8 затруднено выполнение обмотки с большим шагом, а также перерасходуется обмоточный провод. В–третьих, 5–я и 7–я гармоники значительно снижают свое действие (гасятся) от большого числа секций в катушечных группах (за счет распределения обмотки), поэтому даже при $2p$ = 4 с Z = 60, q = 5 заводы принимают шаги не только 12 и 13, но и 11, при котором β = 0,73.

Значит, при конструировании обмотки принимается во внимание не только шаг, а в основном экономия меди, электроэнергии (улучшением cosφ и КПД), уменьшение трудоемкости и т. д. Улучшение же запуска электродвигателей достигается за счет соотношения пазов ротора и статора, в связи с чем можно встретить крупные электродвигатели с обмоткой диаметрального шага.

В табл. 3 приведены данные укорочения шага, принимаемые на заводах–изготовителях электродвигателей.

Это говорит о том, что, несмотря на разное улучшение кривой МДС и поля, можно принимать или изменять укорочение в пределах возможного, а тем более в единичных случаях, когда ремонтники заменяют вышедшую из строя обмотку, соответственно изменив число проводников в пазе статора и обмоточный коэффициент. Такая необходимость возникает при избавлении от разновитковых секций или, когда секции ошибочно заготовлены с отклонением от длины среднего витка (для сохранения необходимого вылета лобовой части обмотки). В основном же необходимо придерживаться данных заводов–изготовителей.

Одновременно с улучшением кривой магнитного потока двухслойная обмотка с укороченным шагом уменьшает индуктивное (реактивное) сопротивление, что является преимуществом перед однослойной обмоткой. Объясняется это следующим образом.

При укорочении шага катушек (секций) в некоторых пазах верхних и нижних слоев протекает ток различных фаз. А это приводит к тому, что общий объем тока паза (сумма произведений из мгновенных значений тока на число проводников верхнего и нижнего слоев) будет меньше, чем это было бы при однослойной обмотке. Уменьшение мгновенных значений тока влечет за собой уменьшение магнитного потока, вызываемого этим током, а это в свою очередь уменьшает индуктивное сопротивление (ЭДС самоиндукции, поделенной на ток).

Кроме того, с сокращением шага в лобовой части укорачиваются проводники, а значит и уменьшается магнитный поток, сцепляемый с лобовыми частями катушек, что также влечет к снижению индуктивного сопротивления. За счет снижения индуктивного сопротивления улучшаются коэффициенты полезного действия и мощности, а также тепловой режим. Несмотря на увеличенное число проводников в пазе (на обмоточный коэффициент укорочения – Kу), при двухслойной обмотке за счет уменьшения лобовых частей обмотки по сравнению с однослойной обмоткой на 10–15 процентов снижается расходование провода.

Одновременно с перечисленными положительными явлениями имеются и отрицательные. Из–за наличия двух слоев и расположения сторон секций в некоторых пазах от различных фаз устанавливаются во всех пазах межсекционные прокладки. Снижение заполнения пазов и укладка последних секций с закрытым шагом (под замок) создают большие неудобства, а наличие двойного числа катушечных групп увеличивает объем работ за счет их намотки, укладки, чистки концов, пайки и изолирования. ‘Даже если обмотки выполняются целыми фазами (без паек), все равно по трудоемкости двухслойные обмотки значительно выше, чем однослойные. При повреждении отдельных секций в двухслойной обмотке их невозможно удалить, приходится полностью заменять обмотку.

В двухслойной концентрической обмотке с целым числом пазов на полюс и фазу шаги секций по пазам определяются так же, как и при однослойной концентрической обмотке, но не по диаметральному, а по принятому укороченному шагу. Левые стороны секций (катушек) укладываются в условно принятые номера пазов 1, 2, 3 и т. д., а правая сторона большой секции должна располагаться в паз на расстоянии принятого шага в сумме с числом пазов на полюс и фазу.

$$y_1 = y\text{у} + q$$

Остальные правые стороны (меньших секций) размещаются рядом внутри.

При дробном числе пазов на полюс и фазу в двухслойной обмотке определение числа периодов и порядок чередования больших и малых катушечных групп отличаются только тем, что количество катушечных групп в два раза больше, чем в однослойной обмотке.

9. 2. Двухслойная обмотка с расчлененными катушечными группами уменьшены на два паза.

Такая обмотка выполняется при четном q из концентрической двухслойной путем деления катушечных групп на две равные части, соединенные непрерывно. Расчленение катушечных групп позволяет уменьшить шаги секций на половину числа пазов на полюс и фазу, обмотка распределяется более равномерно и компактно, чем достигается уменьшение вылета лобовой части, а значит – экономия провода.
Несмотря на эти преимущества, из–за громоздкости шаблонов и сложности заготовки и укладки обмотка с расчлененными катушечными группами применяется редко. На рис. 22 приведена двухслойная концентрическая обмотка, где за счет расчленения катушечных групп шаги уменьшены на два паза.

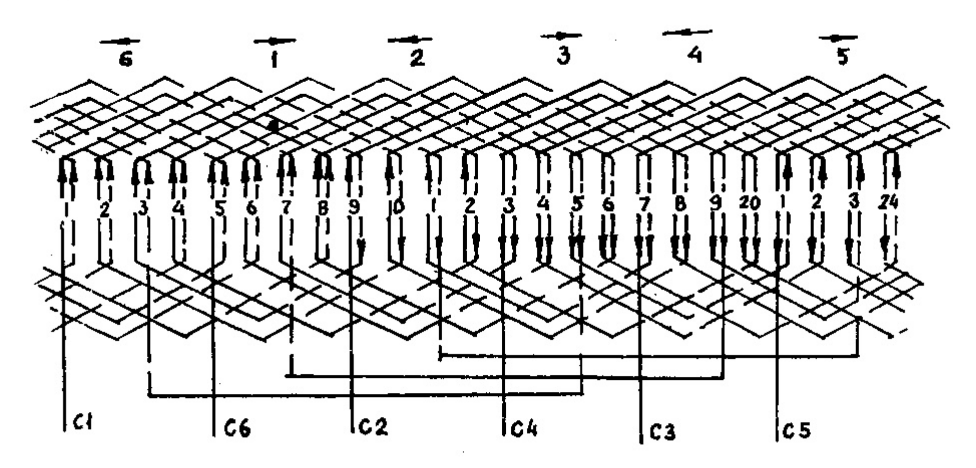


Рис. 22. Схема двухслойной концентрической обмотки с расчлененными КГ = 6, $q = 4 = 2 \times 2$, $Z = 24$, $2p = 2$, $y_1 = 9$ (1 – 10), $y_2 = 7$ (2 – 9).

9. 3. Двухслойная обмотка с разновитковыми секциями.

При нечетном расчетном числе эффективных проводников в пазе статора двухслойные обмотки выполняются с разновитковыми секциями в катушечных группах, причем укладка их в пазы статора производится с таким расчетом, чтобы в каждый паз попадали секции одна с меньшим, а другая с большим числом витков. Намотка и укладка таких секций в катушечных группах чередуется: при нечетном шаге для любого числа пазов на полюс и фазу – через одну, а при четном шаге и четном числе пазов на полюс и фазу – попарно. Если в первом случае число пазов на полюс и фазу нечетное, а во втором равно шести или десяти (когда парных секций получается нечетное число), то половина катушечных групп наматывавается, начиная с секций с большим числом витков, и половина – с меньшим. Укладка их при этом строго чередуется. С четным шагом (y) и нечетным числом пазов на полюс и фазу (q), обмотка с одинаковым числом проводников во всех пазах не выполнима.
Учитывая некоторую сложность в выполнении обмоток с разновитковыми секциями, можно от них избавиться во время ремонта. Если обмотки в заводском исполнении имеют две или три параллельные ветви, то их можно выполните так: в первом случае в четыре, а во втором – в шесть параллельных ветвей. При этом число эффективных проводников в пазе статора увеличивается, а сечение или количество элементарных проводников уменьшается в два раза. В результате этого в пазе статора получится четное количество эффективных проводников.

Четыре или шесть параллельных ветвей возможно при соответствующем количестве катушечных групп в каждой фазе. Например, двухслойная обмотка выполнена в две параллельные ветви (a = 2), имеет число эффективных проводников в пазе статора N = 4 + 5 и элементарных проводников Nэ = 6. При 2p = 4 количество катушечных групп на каждую фазу КГф = 4. Выполняя обмотку в четыре параллельные ветви, получим новые данные N = 9 + 9, Nэ = 3. Все остальные параметры обмотки остаются неизменными.

Кроме того, от разновитковых секций можно избавиться за счет изменения ширины шага обмотки в пределах норм укорочения для 2p = 4, β = 0,86–0,8 и при 2p = 2, β = 0,83–0,54. Например, статор Z = 36, 2p = 2, q = 6 имеет N = 10 + 11 = 21; yу = 14 (1 – 15); β = 14/18 = 7/9 = 0,78; Kу = 0,94. В зависимости от заполнения паза можно увеличить или уменьшить число эффективных проводников в пазе, изменив соответственно шаг на один паз по табл. 3.
При yу = 15 (1 – 16); β = 15/18 = 5/6 = 0,83; Kу = 0,97, тогда N = (21/0,97) × 0,94 = 20,3 = 20 = 10 + 10. При yу = 13 (1 – 14); 6 = 13/18 = 0,72; Kу = 0,91, тогда N = (21/0,91) × 0,94 = 21,7 = 22 = 11 + 11. В обоих случаях округление проводников на 0,3 – меньше 1%.

Иногда при конструировании обмоток для крупных электродвигателей, даже при образовании параллельных ветвей и определенном шаге, все же получается расчетное число проводников в пазе дробное, округление которого недопустимо. В этом случае заготовка КГ производится с чередованием в них разновитковых секций так, чтобы при укладке в одном пазе от каждых двух КГ получилось больше или меньше эффективных проводников, расположенных равномерно по окружности статора.

Например, болгарские электродвигатели со статором Z = 60, 2p = 4, q = 5, yу = 12 (1–13), а = 4, β = 12/15 = 0,8, Kу = 0,95.

М315–МК–4, 250 *кВт* имеет N = 7,6 + 7,6 принято N = 7 + 8 чередованием в КГ – 8, 7, 7, 8, 8 и заполнением пазов с количеством проводников периодично повторяясь 16, 15, 15, 15, 15 и т. д.

М315М–4, 315 *кВт* имеет N = 6,4 + 6,4 принято N = 6 + 7 чередованием в КГ – 6, 7, 7, 6, 6 заполнением пазов – 12, 13, 13, 13, 13 и т. д.

Во время ремонта с заменой обмотки, как исключение, для облегчения укладки можно изменить шаги. В первом случае на yу = 11 (1–12), β = 11/15 = 0,73, Kу = 0,91, тогда N = (15,2/0,91) × 0,95 = 15,9 = 16 = 8 + 8, но при этом незначительно увеличивается вредное относительное воздействие нечетных 5–й и 7–й гармоник на основную кривую потока. Во втором случае изменить шаг невозможно.

10. Одно–двухслойная обмотка.

Эта обмотка – сочетание двухслойной с укороченным шагом и однослойной с диаметральным шагом, выполняется из однослойной концентрической обмотки "в развалку" с целым –числом пазов на полюс и фазу – q = 4, 5, 6.

q = 4 – возможно при Z = 24 и 2p = 2, Z = 48 и 2p = 4, Z = 72 и 2p = 6;
q = 5 – возможно при Z = 30, и 2p = 2, Z = 60 и 2p = 4, Z = 90 и 2p = 6;
q = 6 – возможно при Z = 36 и 2p = 2, Z = 72 и 2p = 4.

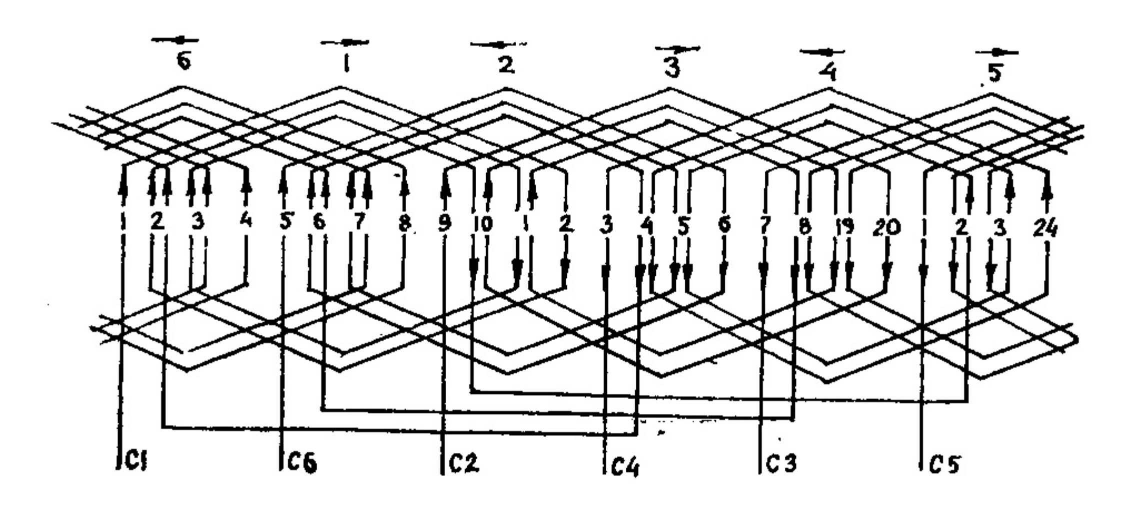


Рис. 23. Схема одно–двухслойной обмотки $Z = 24$, $2p = 2$, КГ = 6,
$q = 4 = 2 + 2 = 1 + 0,5 + 0,5$
$y_1 = 11$ (1–12), $y_2 = 9$ (2–11), $y_3 = 7$ (3–10), $\beta = 10/12 = 5/6 = 0,83$, $y_{эк} = 10$.

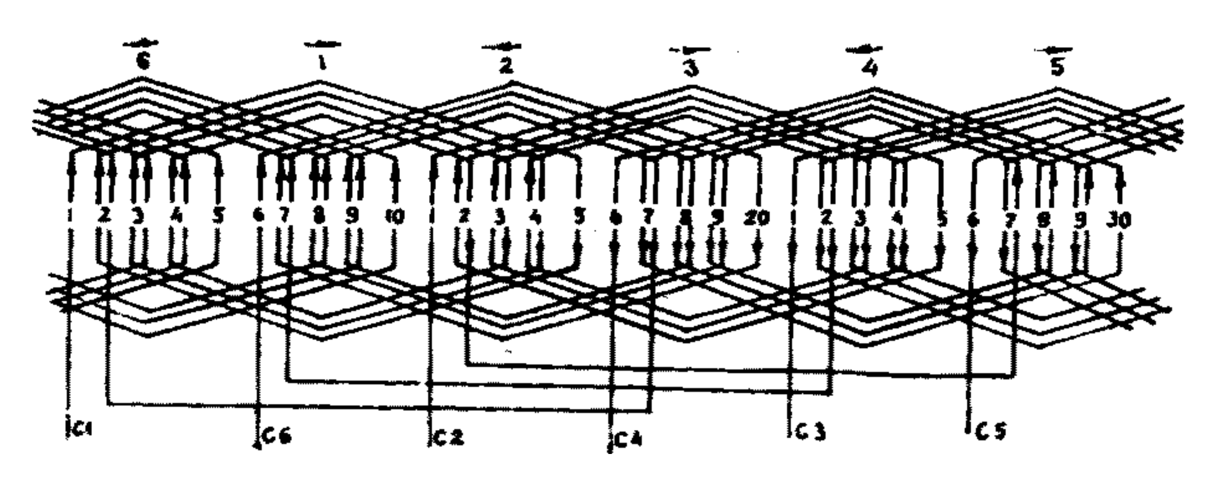


Рис. 24. Схема одно–двухслойной обмотки $Z = 30$, $2p = 2$, КГ = 6,
$q = 5 = 2,5 + 2,5 = 1 + 0,5 + 0,5 + 0,5$
$y_1 = 14$ (1–15), $y_2 = 12$ (2–14), $y_3 = 10$ (3–13), $y_4 = 8$ (4–12), $\beta = 12/15 = 0,8$, $y_{эк} = 12$.

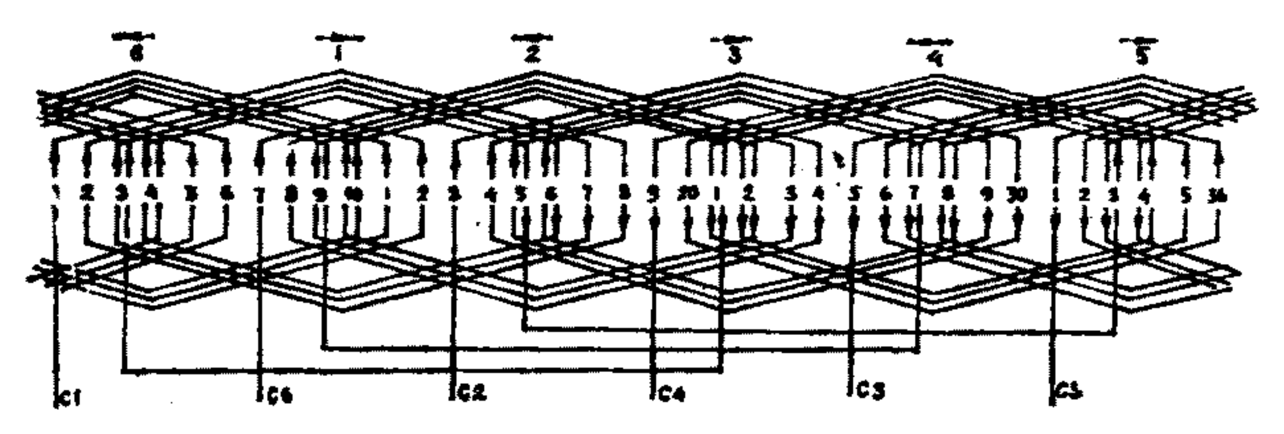


Рис. 25. Схема одно–двухслойной обмотки $Z = 36$, $2p = 2$, КГ = 6,
$y_1 = 17$ (1–18), $y_2 = 15$ (2–17), $y_3 = 13$ (3–16), $y_4 = 11$ (4–15), $\beta = 16/18 = 0,89$, $y_{эк} = 16$.

Для получения одно–двухслойной обмотки в каждой катушечной группе внешние полные секции остаются с тем же шагом, что и при однослойной концентрической обмотке "в развалку" и размещаются в пазах, в которых обычно при двухслойной обмотке лежат стороны секций одной и той же фазы, а внутренние полные секции делятся на полусекции и размещаются внутри полных секций, в пазах которых при двухслойной обмотке обычно лежат стороны секции разных фаз с укороченным шагом.

При q = 4 = 2 + 2 катушечные группы будут 1–0,5–0,5 с шагами y_1 = 11 (1 –12); y_2 = 9 (2–11); y_3 = 7 (3–10); $y_{эк}$ = 2 (4 + 1) = 10 (1–11); β = 10/12 = 0,83 (рис. 23).
При q = 5 = 2,5 + 2,5 катушечные группы будут 1–0,5–0,5–0,5 с шагами y_1 = 14 (1 –15); y_2 = 12 (2–14); y_3 = 10 (3–13); y_4 = 8 (4–12); $y_{эк}$ = 2 (5 + 1) = 12 (1 –13); β = 12/15 = 0,8 (рис. 24).
При q = 6 = 3 + 3 катушечные группы будут 1–1–0,5–0,5 с шагами y_1 = 17 (1 – 18); y_2 = 15 (2–17); y_3 = 13 (3–16); y_4 = 11 (4–15); $y_{эк}$ = 2 (6 + 2) = 16 (1–17); β = 16/18 = 0,89 (рис. 25).
$y_{эк}$ – эквивалентный шаг равен удвоенной сумме числа пазов на полюс и фазу (q), с числом полных секций в катушечной группе (Wп). $y_{эк}$ = 2 × (q + Wп). Соединение схемы – как в двухслойной обмотке.

11. Специальные обмотки.
11. 1. Однослойные обмотки для разрезных статоров.

Однослойная обмотка выполняется равносекционной или концентрической полными катушечными группами (полным числом секций в катушечной группе). Укладка катушечных групп, в отличие от простой однослойной обмотки проводится без пропусков пазов, при этом лобовые части всех катушечных групп при выходе из пазов отгибаются в одну сторону как при укладке двухслойной обмотки. Катушечные группы между собой в схеме соединяются конец с началом. При таком соединении схемы началом первой фазы принимается начало от первой катушечной группы, началом второй фазы принимается начало от третьей катушечной группы, а начало третьей фазы будет конец от предпоследней катушечной группы в последней разрезной части статора (как в двухслойной непрерывной обмотке).

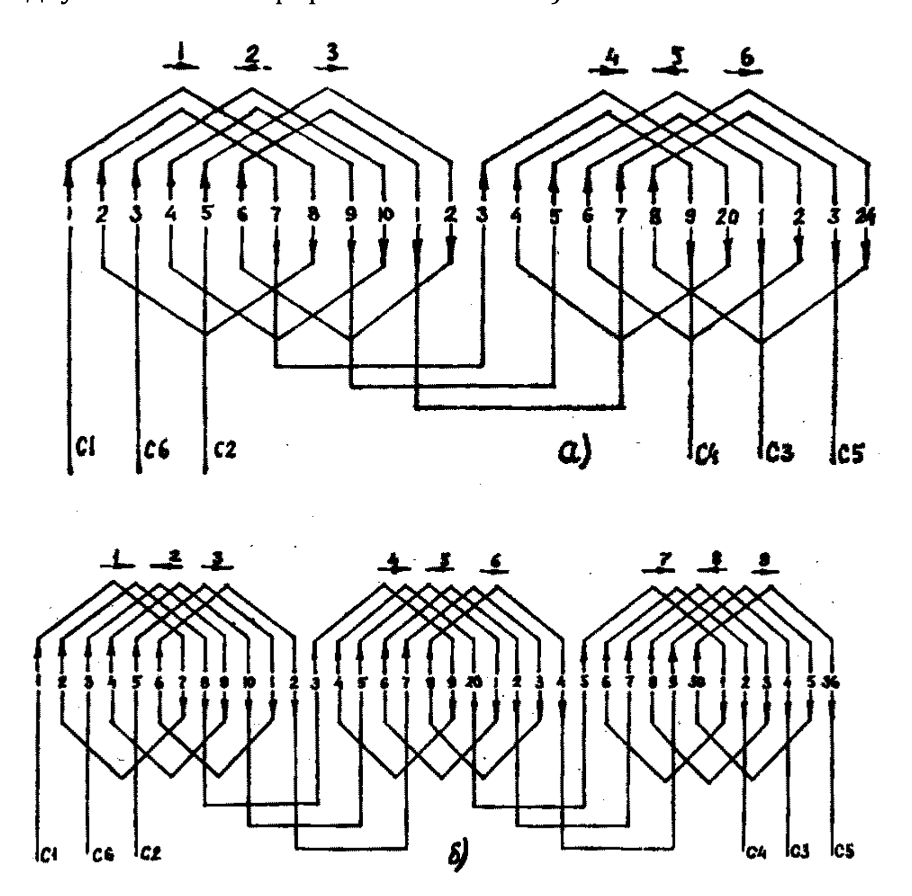


Рис. 26. Схемы однослойной обмотки для разрезных статоров:
а) концентрическая обмотка для разрезного статора
на две части Z = 24, 2p = 4, y_1 = 7 (1–8), y_2 = 5 (2–7), КГ = 6, q = 2;
б) равносекционная обмотка для разрезного статора
на три части, Z = 36, 2p = 6, q = 2, y = 6 (1–7), КГ = 9.

При разрезном статоре на две части можно выполнить однослойную обмотку для электродвигателя на 1500 *об. мин.* ($2p$ = 4) или на 750 *об. мин.* ($2p$ = 8), а при разрезном статоре на три части обмотка выполняется на 1000 *об. мин.* ($2p$ = 6) или на 500 *об. мин.* ($2p$ = 12).
Если обмотка выполняется на 750 *об. мин.* ($2p$ = 8) или на 500 *об. мин.* ($2p$ = 12), то заготовку и укладку ее лучше производить непрерывной по две катушечные группы, что исключает соединения схемы в частях разрезного статора. На рис. 26 *а*, *б* приведены концентрическая и равносекционная разрезная обмотки, в которых соединение катушечных групп производится в местах разрезов статора.

11.2. Схема изменения числа полюсов без замены обмотки.

Изменить число полюсов без замены обмотки можно в любом короткозамкнутом односкоростном электродвигателе, выполненном в две или четыре параллельные ветви, двухслойной обмоткой. Такое изменение возможно только в сторону увеличения числа полюсов с отношением один к двум (1/2), т. е. с $2p$ = 2 на $2p$ = 4, с $2p$ = 4 на $2p$ = 8, с $2p$ = 6 на $2p$ = 12, с $2p$ = 8 на $2p$ = 16 и т. д. Если в электродвигателе с двухслойной обмоткой изменить соединение катушечных групп, как в однослойной обмотке, – конец с началом, то обмотка из шестидесятиградусной с укороченным шагом становится стодвадцатиградусная с числом полюсов в два раза большим, но уже с удлиненным шагом.

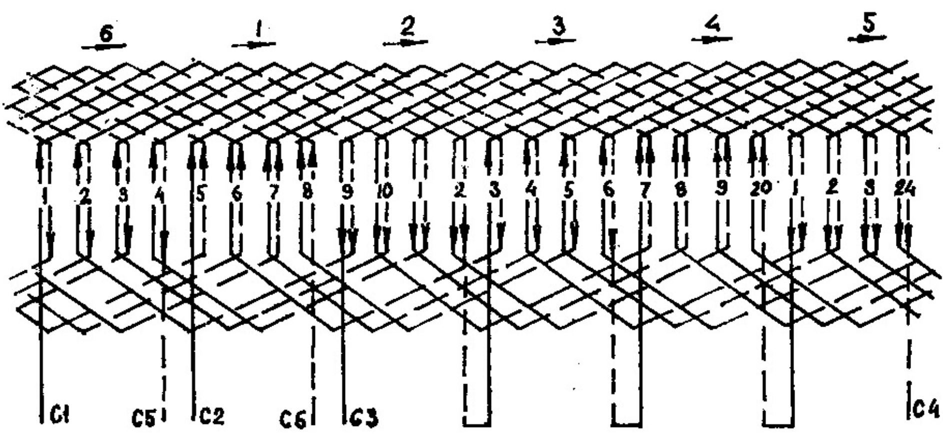


Рис. 27. Схема двухслойной равносекционной обмотки.
Z = 24, $2p$ = 2, q = 4, y = 8 (1–9), КГ = 6, a = 2, рис. 20 переключена с шестидесятиградусной на стодвадцатиградусную a = 1, $2p$ = 4.

Так как при этом мощность тихоходного электродвигателя и сечение провода обмотки уменьшаются, а число эффективных проводников в пазе статора увеличивается (соответственно пропорционально изменению числа; полюсов) в 2 раза, то достаточно обмотку (большего числа оборотов) с двумя параллельными ветвями изменить на последовательную, а с четырех параллельных ветвей – на две.
На рис. 20 шестидесятиградусная двухслойная обмотка с Z = 24, q = 4, y = 8 (1– 9), $2p$ = 2 была выполнена с укороченным шагом на 4 паза, в две параллельные ветви, КГ = 6, а после переключения катушечных групп последовательно (как в однослойной обмотке конец с началом) по схеме рис. 27 получен электродвигатель на $2p$ = 4 со стодвадцатиградусной обмоткой с удлиненным шагом на 4 паза.

11. 3. Обмотка для тихоходных электродвигателей.

Для получения наименьшей частоты вращения электродвигателя обмотку статора изготовляют однослойной или двухслойной с числом пазов на полюс и фазу, равным единице (q = 1).

Обычно заводы выпускают лифтовые электродвигатели с числом пазов в статоре Z = 24, 36, 48, 54 и 72 соответственно с числом полюсов $2p$ = 8, 12, 16, 18 и 24 или частотой вращения 750, 500, 375, 333 и 250 *об. мин.*, тогда как нередко требуются значительно меньшие обороты. Если обмотку выполнить с числом пазов на полюс и фазу, равным половине (q = 0,5 = 1/2), то электродвигатели с указанными числами пазов статора будут иметь соответственно полюсов $2p$ = 16, 24, 32,
36 и 48 или частоту вращения 375, 250, 187, 167 и 125 *об. мин.* В этом случае обмотка выполняется только двухслойной, а соединение катушечных групп (полусекций) производится, как в однослойной обмотке, конец с началом. Шаг обмотке взят y = 2 (1–3), число КГ равно числу пазов статора (КГ = 24, 36, 48, 54, 72).
Для уменьшения трудоемкости заготовка и укладка обмотки производятся целыми фазами (без переходных изоляционных трубок в схеме), имеющими соответственно в каждой фазе по 8, 12, 16, 18, 24 одно–полусекционных КГ, что позволяет избежать между ними соединение и пайку.

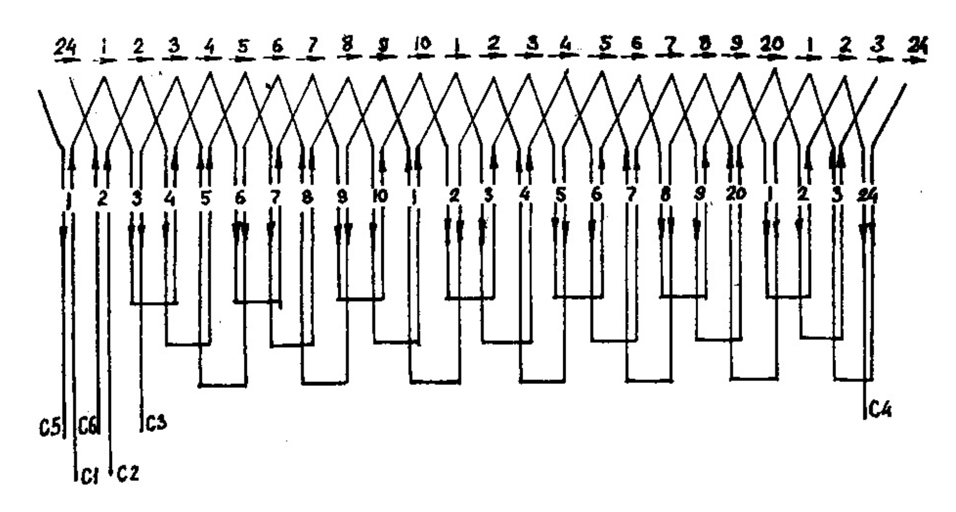
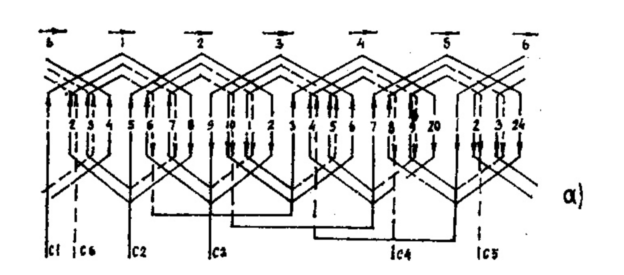


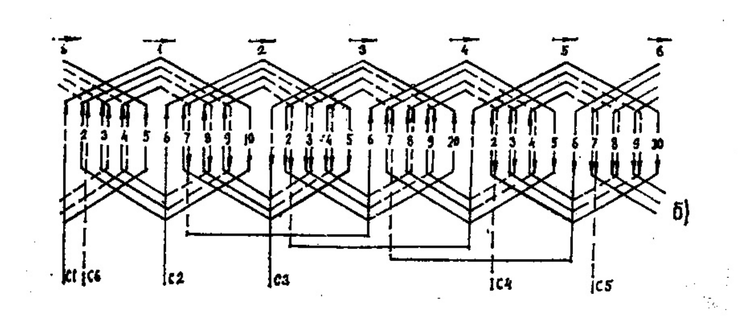
Рис. 28. Схема двухслойной равно секционной обмотки
с дробным q = 0,5 = ½, Z = 24, $2p$ = 16, y = 2 (1–3), КГ = 24.

Укладка фаз делается полностью поочередно в одну сторону, при этом укладывая вторую фазу, необходимо пропустить один паз (как при укладке однослойной обмотки). Началами фаз являются начало от первых катушечных групп непрерывных обмоток. Изоляцию между ярусами в лобовой части можно производить сплошными полосами. На рис. 28 приведена двухслойная обмотка с целыми фазами соединением КГ конец с началом, Z = 24, $2p$ = 16, q = 1/2, y = 2 (1–3), КГ = 24.

11. 4. Обмотка с расширенной фазной зоной.

Однослойная обмотка имеет плохие характеристики, поэтому для улучшения их помимо двухслойной, цепной и одно–двухслойной обмоток с укороченным шагом предлагается новая обмотка с расширенной фазной зоной. Если в однослойной концентрической обмотке в катушечных группах (КГ) наружные секции с диаметральным шагом оставить без изменения, а внутренние секции разделить на полусекции, стороны которых разместятся в пазах, принадлежащих другим фазам, то такую обмотку можно назвать обмоткой с расширенной фазной зоной.
За счет увеличения фазных зон полусекции будут иметь такой укороченный шаг, который позволит уничтожить 5–ю или 7–ю гармонику или значительно уменьшить их вредное влияние. Так как однослойная концентрическая обмотка с расширенной фазной зоной при q = 1 превращается в двухслойную обмотку, а при $q \geqq 4$ удобнее и выгоднее применить одно–двухслойную обмотку, то из этого следует, что такая обмотка возможна только при q = 2, 2½, 3 и 3½.





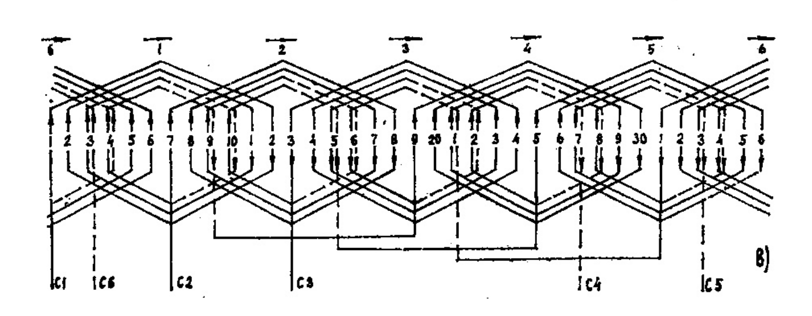


Рис. 29. Схемы однослойной концентрической обмотки с расширенной фазной зоной:

а) $q = 2 = 1 + 0{,}5 + 0{,}5$, $Z = 24$, $2p = 4$, $y_1 = 7$ (1–8), $y_2 = 5$ (2–7); $y_3 = 3$ (3–6).
б) $q = 2½ = 1 + 0{,}5 + 0{,}5 + 0{,}5$, $Z = 30$, $2p = 4$, $y_1 = 9$ (1–10)
$y_2 = 7$ (2–9), $y_3 = 5$ (3–8), $y_4 = 3$ (4–7).
в) $q = 3 = 1 + 1 + 0{,}5 + 0{,}5$; $Z = 36$, $2p = 4$, $y_1 = 11$ (1–12) $y_2 = 9$ (2–11),
$y_3 = 7$ (3–10), $y_4 = 5$ (4–9).

Укорочение шага обмотки с расширенной фазной зоной зависит от наличия в катушечных группах полных наружных секций и образованных полусекций, а также от числа пазов и полюсов статора. Учитывая трудность укладки секций с большим шагом при $2p = 2$, обмотка не применяется.

$q = 2$ возможно при $Z = 24$ и $2p = 4$, КГ = 6,
при $Z = 36$ и $2p = 6$, КГ = 9, при $Z = 48$ и $2p = 8$, КГ = 12,
при $Z = 60$ и $2p = 10$, КГ –15, при $Z = 72$ и $2p = 12$, КГ = 18
$q_1 = 2 = 1 + 0{,}5 + 0{,}5$, $y_1 = 7$ (1– 8), $y_2 = 5$ (2–7), $y_3 = 3$ (3–6),
Эквивалентный шаг – $y_{эк} = 5$ (1–6), укорочение – $\beta = 5/6 = 0{,}83$, рис. 29 а.

$q = 2{,}5 = 2½$, возможно при $Z = 30$ и $2p = 4$, КГ = 6,
при $Z = 45$ и $2p = 6$, КГ = 9, при $Z = 60$ и $2p = 8$, КГ = 12,
при $Z = 75$ и $2p = 10$, КГ = 15,
$q_1 = 2{,}5 = 1 + 0{,}5 + 0{,}5 + 0{,}5$.
$y_1 = 9$ (1–10), $y_2 = 7$ (2–9), $y_3 = 5$ (3–8), $y_4 = 3$ (4–7).
Эквивалентный шаг – $y_{эк} = 6$ (1–7), укорочение – $\beta = 6/6{,}5 = 0{,}8$, рис. 29 б.

$q = 3$ возможно при $Z = 36$ и $2p = 4$, КГ = 6,
при $Z = 54$ и $2p = 6$, КГ = 9, при $Z = 72$ и $2p = 8$, КГ = 12.
$q_1 = 3 = 1 + 1 + 0{,}5 + 0{,}5$, $y_1 = 11$ (1–12), $y_2 = 9$ (2–11), $y_3 = 7$ (3–10), $y_4 = 5$ (4–9).
Эквивалентный шаг – $y_{эк} = 8$ (1–9), укорочение – $\beta = 8/9 = 0{,}89$, рис. 29 в.

Однослойная концентрическая обмотка с расширенной фазной зоной подобна одно–двухслойной обмотке, но, несмотря на одинаковое укорочение шага, существенно от нее отличается, так как выполняется с малыми числами пазов на полюс и фазу полными катушечными группами, в результате чего количество их в два раза меньше. Кроме того, указанная обмотка имеет больший диапазон применения и выполнима с половинным дробным числом пазов на полюс и фазу (q = 2½ , 3½), тогда как одно– двухслойная обмотка укладывается "в развалку", *а* с дробным числом пазов на полюс и фазу вообще невыполнима. Соединение схемы обмотки производится конец с началом, как в однослойной обмотке. Началами фаз являются начала от 1–й, 2–й и 3–й катушечных групп.

12. Укладка обмотки, соединение схем и образование параллельных ветвей.

В однослойной обмотке укладка разрезных катушечных групп или целях фаз производится любой стороной, начиная с секции, имеющей начальный или концевой вывод. После укладки первой катушечной группы последующие укладываются с пропуском пазов на число секций в катушечной группе.
Для составления схемы обмотки все катушечные группы нумеруются в общем порядке. При этом каждая фаза имеет свои условные номера: КГ, с фигурами △, ◯, ▢

1– я фаза – 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22 и т. д.
2– я фаза – 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23 и т. д.
3– я фаза – 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 и т. д.

Разбив все катушечные группы на тройки, принято их именовать: 1ф, 2ф, 3ф, 1ф, 2ф, 3ф и т. д. Из нумерации видно, что началами фаз являются начальные выводы первой, второй и третьей катушечной группы, а последующее соединение (при последовательной обмотке) производится конец с началом (рис. 30). Над катушечными группами наносятся стрелки в одну сторону, указывающие направление укладки обмотки и соединение схемы (одновременно). Так как каждая катушечная группа трех фаз создает два разноименных полюса, то число катушечных групп в фазе равно числу пар полюсов КГф = p, а для всех фаз в 3 раза больше КГ = 3 × p.

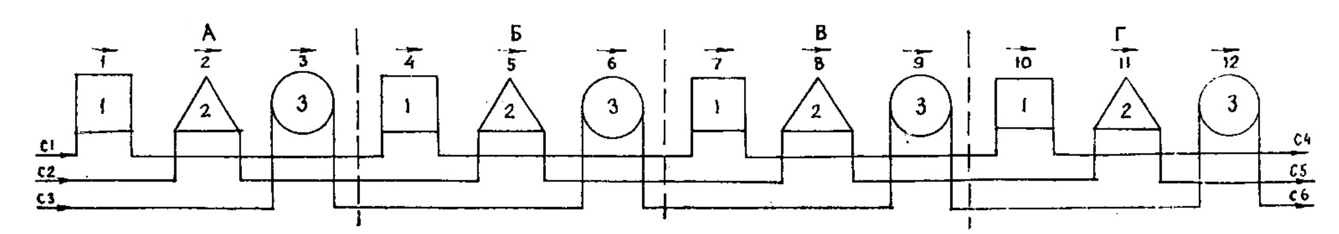


Рис 30. Схема развернутой однослойной обмотки с условными КГ, выполненная разрезными КГ или целыми фазами.
А) $2p = 2$, КГ = 3
А + Б) $2p = 4$, КГ = 6
А + Б + В) $2p = 6$, КГ = 9
А + Б + В + Г) $2p = 8$, КГ = 12

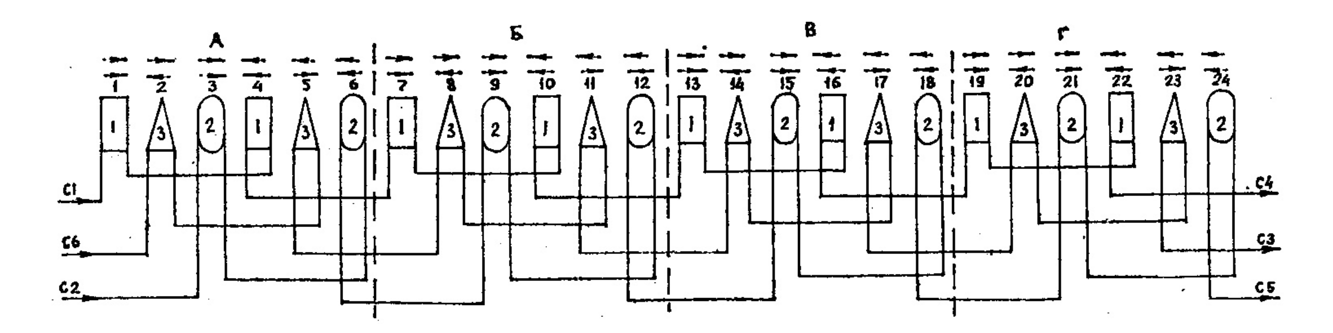


Рис. 31. Схема укладки целых фаз с условными КГ двухслойной, однослойной в "развалку", цепной и одно–двухслойной обмоток
А) $2p$ = 2, КГ = 6
А + Б) $2p$ = 4, КГ = 12
А + Б + В) $2p$ = 6, КГ = 18,
А + Б + В + Г) $2p$ = 8, КГ = 24

При образовании параллельных ветвей собираются все начала вместе и все концы катушечных групп вместе (рис. 32, 33), при этом направление стрелок над КГ такое же, как в последовательном соединении. Однослойную последовательную обмотку с целыми фазами можно выполнять одновременно, поочередно от каждой фазы по одной катушечной группе, как и разрезные (рис. 30).
Но лучше целые фазы укладывать отдельно по порядку ярусами, при этом после укладки катушечной группы последующие в своей каждой фазе отстоят друг от друга на расстоянии $2\times q$. 2–я и 3–я фазы начинаются укладкой с пропуском по q пазов (второй катушечной группы от первой, а третьей – от второй). Преимущество такой укладки: отсутствие неудобств оперировать одновременно всеми фазами и можно обойтись без переходных изоляционных трубок, изолировав соединения между КГ прокладками по ярусам. В двухслойной обмотке катушечные группы укладываются подряд друг за другом, а однослойная обмотка "в развалку" выполняется как простая однослойная. Так как в двухслойной обмотке секции имеют половинное число витков, а однослойная "в развалку" 30° фазную зону, то началами фаз для обеих обмоток будут катушечные группы не рядом (как в однослойной простой обмотке), а через одну. Для разрезных катушечных групп двухслойной и однослойной в "развалку" обмоток началами фаз являются:

для 1–й фазы – начало 1–й катушечной группы,
для 2–й фазы – начало 3–й катушечной группы,
для 3–й фазы – начало 5–й катушечной группы.

К каждой фазе из общего порядка номеров принадлежат катушечные группы:

для 1–й фазы – 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22 и т. д.
для 2–й фазы – 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 и т. д.
для 3–й фазы – 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23 и т. д.

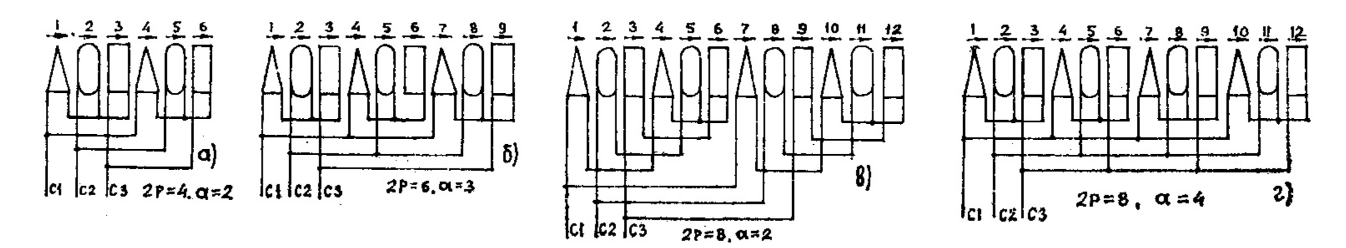


Рис. 32. Схемы параллельных ветвей в однослойных обмотках с условными КГ на три вывода: а) $2p$ = 4, a = 2; б) $2p$ = 6, a = 3; в) $2p$ = 8, a = 2; г) $2p$ = 8, a = 4.

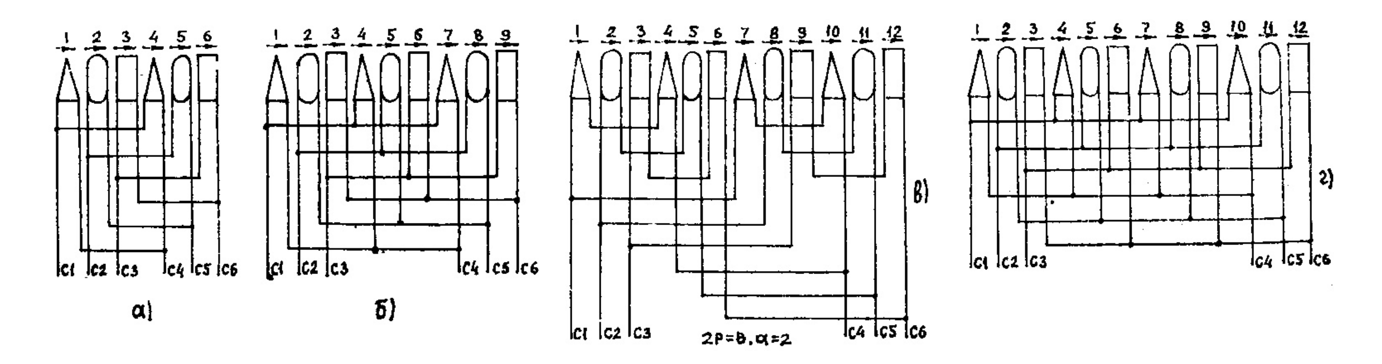


Рис. 33. Схемы параллельных ветвей в однослойных обмотках с условными КГ на шесть выводов: а) $2p$ = 4, a = 2; б) $2p$ = 6, a = 3; в) $2p$ = 8, a = 2; г) $2p$ = 8, a = 4.

Следовательно, разбив катушечные группы на тройки, их можно будет именовать 1ф, 3ф, 2ф; 1ф, 3ф, 2ф и т. д. Обратим внимание, что 3–я фаза переместилась по сравнению с однослойной обмоткой. Так как у таких обмоток два разноименных полюса создаются двумя сторонами двух катушечных групп, расположенных рядом, то их: соединение производится конец с концом, потом начало с началом, повторяясь периодически (рис. 31), поэтому число катушечных групп в фазе определяется числом полюсов КГф = $2p$, а всего их в три раза больше – КГ = 3 × $2p$ = $6p$.
Для удобства соединения схем над катушечными группами наносятся стрелки, причем как в каждой фазе, так и во всех катушечных группах направление стрелок поочередно меняется (нижние стрелки над схемами). Образовывая параллельные ветви, необходимо придерживаться направления указательных стрелок, что позволяет получить схему, какой она должна быть при последовательной обмотке.
Если двухслойная обмотка и однослойная "в развалку" выполняются целыми фазами, то катушечные группы укладываются поочередно от каждой фазы, при этом начальные первые три размещаются нормально, а следующие три переворачиваются на 180 градусов, чередуясь периодично, что обеспечивает необходимое соединение между катушечными группами (верхний ряд стрелок над схемами рис. 31–35 указывает укладку КГ).
Помимо этого, однослойную обмотку "в развалку" удобнее укладывать поочередно полностью фазами по ярусам, при этом в каждой фазе катушечные группы располагаются рядом обеими сторонами (рис. 6, 7). Так как "развалка" применяется в основном для двухполюсных электродвигателей (для уменьшения шага), то в каждой фазе будет только по две катушечные группы. Началом первой фазы является начало первой катушечной группы, началом второй фазы – начало третьей катушечной группы, началом третьей фазы будет конец от средней непрерывной фазы – начало от предпоследней катушечной группы (рис. 31).
Выполняя однослойную обмотку "в развалку" с нечетным q или любую обмотку с дробным q, а также двухслойную обмотку с разновитковыми секциями при одинаковом количестве больших и малых катушечных групп, во всех случаях следует их укладку в статоре чередовать, что обеспечивает равномерное образование полюсов по окружности статора. При выполнении такой обмотки целыми фазами или параллельными ветвями намотка в них больших и малых катушечных групп чередуется, а укладка производится крайних фаз, начиная, допустим, с больших, а в средней – с малой или наоборот.

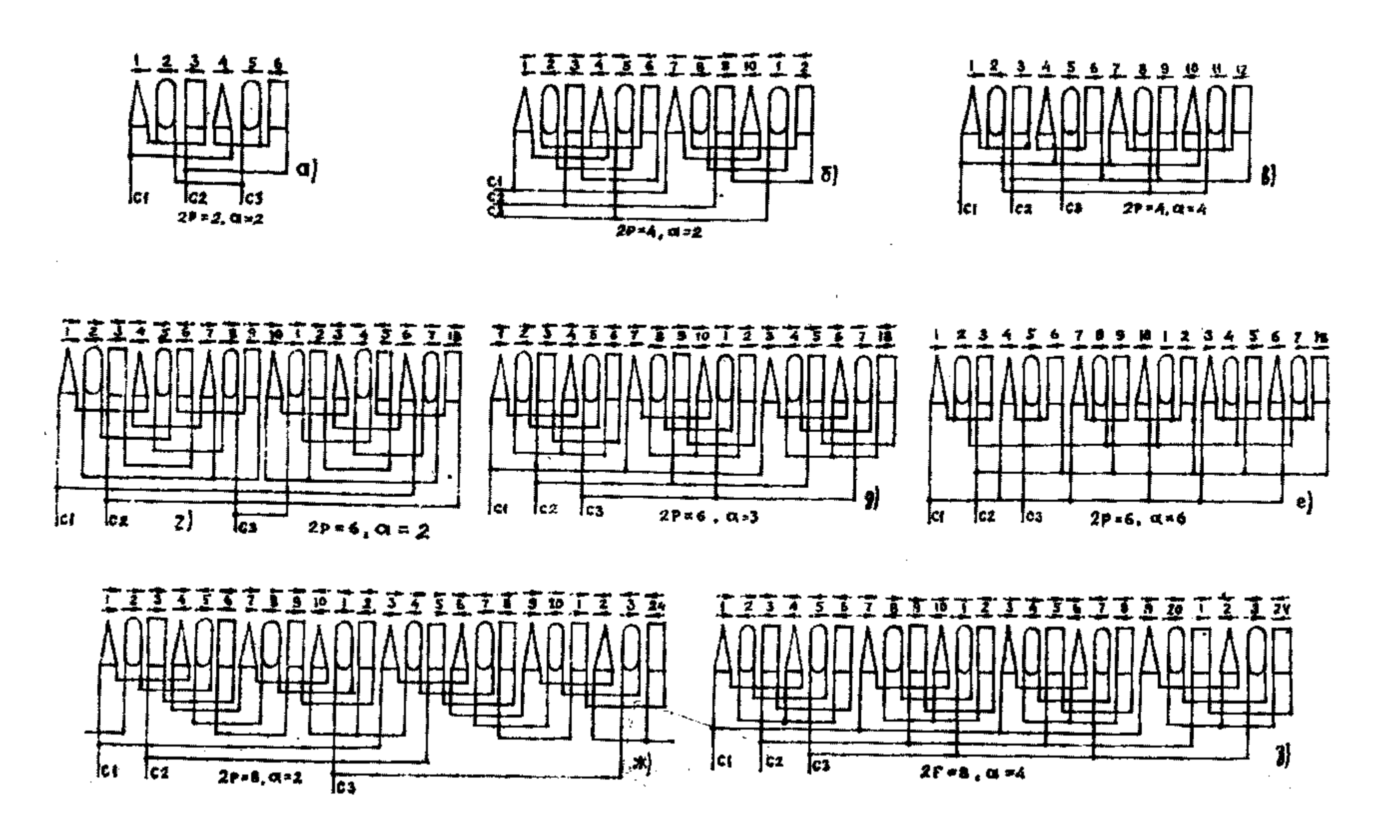


Рис. 34. Схемы параллельных ветвей в двухслойных обмотках на три вывода:
а) $2p$ = 2, a = 2, КГ = 6, б) $2p$ = 4, a = 2, КГ = 12, в) $2p$ = 4, a = 4, КГ = 12
г) $2p$ = 6, a = 2, КГ = 18, д) $2p$ = 6, a = 3, КГ = 18, е) $2p$ = 6, a = 6, КГ = 18
ж) $2p$ = 8, a = 2, КГ = 24, з) $2p$ = 8, a = 4, КГ = 24

Число параллельных ветвей не должно превышать шесть, так как при большем количестве вероятны возникновения уравнительных токов из–за некоторого неравенства сопротивлений, а значит, появление паразитных сил и дополнительных потерь. Возможное число параллельных ветвей (указанное в табл. 1) образуется по двум способам:

первый способ – на три вывода от обмотки, с соединением звезды внутри схемы. Применяется, когда электродвигатель используется только на одно напряжение. Для уменьшения лобовой части, экономии провода и изоляционной трубки количество соединений в звезду делается равным числу параллельных ветвей (рис. 32) для однослойной обмотки и (рис. 34) для двухслойной обмотки:

второй способ – на шесть выводов от обмотки. Применяется, когда электродвигатель включается или на два напряжения, или для облегчения его запуска обмотка включается на звезду, а при работе переключается на треугольник. Рис. 33 приведен для однослойных обмоток, а рис. 35 – для двухслойных, однослойных "в развалку", цепных и одно–двухслойных обмоток.

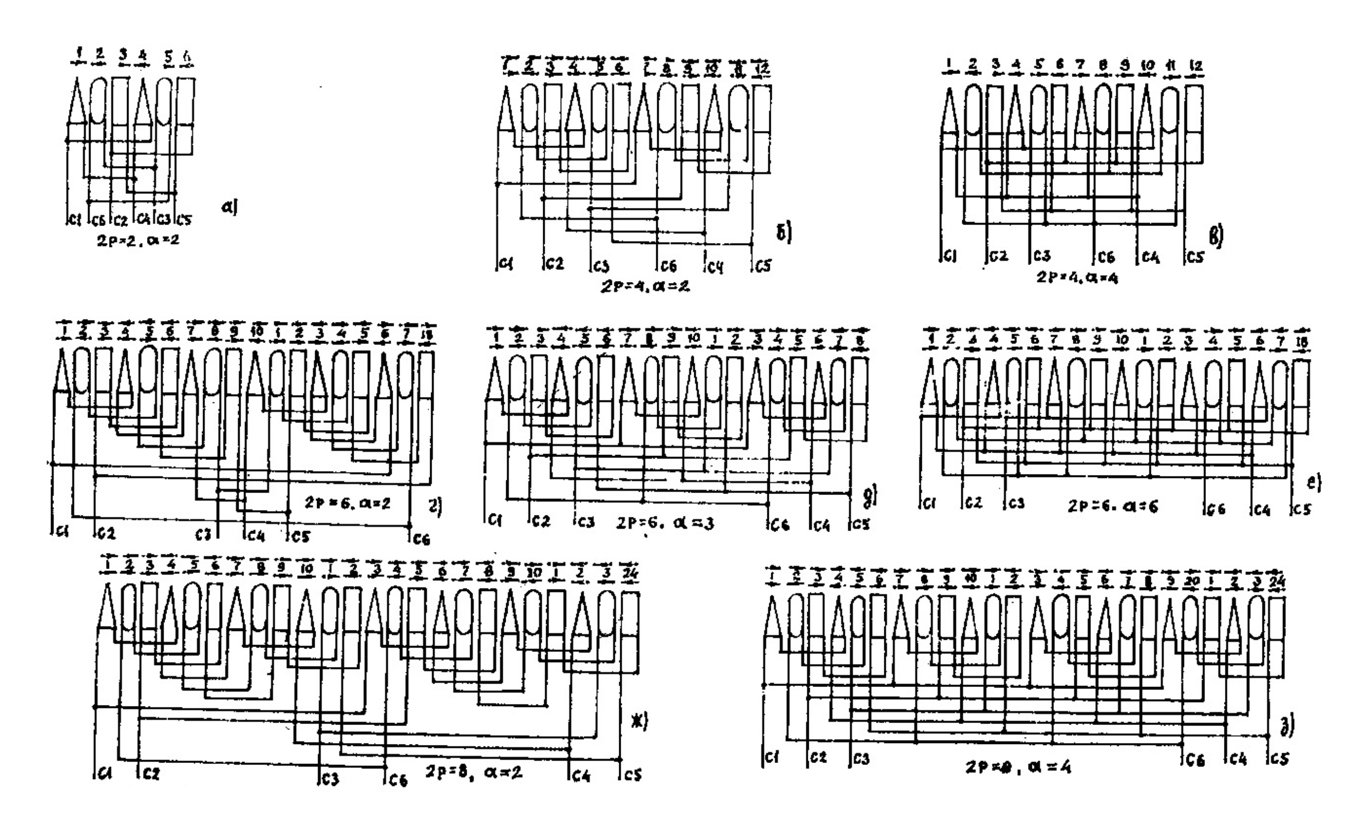


Рис. 35. Схемы параллельных ветвей в двухслойных обмотках на шесть выводов:
а) $2p = 2$, $a = 2$, КГ = 6, б) $2p = 4$, $a = 2$, КГ = 12, в) $2p = 4$, $a = 4$, КГ = 12
г) $2p = 6$, $a = 2$, КГ = 18, д) $2p = 6$, $a = 3$, КГ = 18, е) $2p = 6$, $a = 6$, КГ = 18
ж) $2p = 8$, $a = 2$, КГ = 24, з) $2p = 8$, $a = 4$, КГ = 24

Таблица 1. Возможное число параллельных ветвей и количество катушечных групп в зависимости от числа полюсов и типа обмотки, с целым числом пазов на полюс и фазу.

n	$2p$	p	В фазе катушечных групп и параллельных ветвей			
			однослойная обмотка		двухслойная, однослойная "в развалку", цепная и одно– двухслойная обмотки	
			КГф = p	a	КГф = $2p$	a
3000	2	1	1		2	2
1500	4	2	2	2	4	2, 4
1000	6	3	3	3	6	2, 3, 6
750	8	4	4	2, 4	8	2, 4
600	10	5	5	5	10	2, 5
500	12	6	6	2, 3, 6	12	2, 3, 4, 6

13. Составление параллельных ветвей a обмотки в зависимости от мощности электродвигателей.

В электродвигателях малой мощности (до 100 *кВт*) для экономии материалов при соединении схем можно в каждую параллельную ветвь последовательно включить катушечные группы, расположенные рядом, что в свою очередь обеспечивает выполнение ветвей целыми без паек.
Для электродвигателей мощностью более 100 *кВт* в каждую параллельную ветвь необходимо включить последовательно катушечные группы (в зависимости от их количества) по окружности статора, смещенные на число геометрических градусов. При двух КГ – на 180 градусов при трех – 120°, при четырех – 90°, при пяти – 72°, при шести – 60° и т. д.

Связано это с тем, что вращающийся магнитный поток создается обмоткой статора, подключенной к сети, поэтому напряжение, приложенное к зажимам обмотки, уравновешивается противоэлектродвижущей силой (ПЭДС), индуктируемой вращающимся магнитным полем (потоком) в обмотке. Если катушечные группы намотаны строго одинаково по величине и воздушный зазор между статором и ротором равномерно одинаков по всей окружности, а напряжение сети устойчиво, то противо–электродвижущая сила будет иметь постоянную величину и намагничивающий ток, проходя по обмотке, создает равномерное вращающееся магнитное поле. Но, во–первых, идеально равномерного зазора по всей окружности не всегда можно добиться, а во–вторых, этот зазор часто нарушается за счет сработки подшипников или выработки в выточках подшипниковых щитов на статоре и т. п.
При нарушении равномерности воздушного зазора несмотря на то, что намагничивающий ток будет без изменений, под катушечными группами с меньшим зазором будет создаваться больший магнитный поток, а под катушечными группами с большим зазором создается меньший магнитный поток (из–за разного магнитного сопротивления), что может привести к ненормальным явлениям в электродвигателе.
Если обмотка статора выполнена последовательно или параллельно, но в ветвях катушечные группы, которые включены последовательно, правильно распределены по окружности статора, то не возникает никаких ненормальных явлений или они будут проявляться в меньшей мере. Но если же в параллельных ветвях катушечные группы для включения последовательно расположены неравномерно по окружности статора, то созданные разные по величине различные магнитные потоки будут в параллельных ветвях индуктировать разные по величине противоэлектро – движущие силы.
Разные противоэлектродвижущие силы в параллельных ветвях не полностью уравновешиваются напряжением сети, в результате чего возникают уравнительные токи, создающие дополнительно перегрузку обмотки и ее перегрев. Кроме того, появляются паразитные силы, усиливается шум в электродвигателе, возможно и "прилипание" ротора.

14. Образование полюсов в схемах обмоток.

После составления схемы любого типа обмотки (особенно с наличием параллельных ветвей) правильность ее можно проверить образованием полюсов, путем нанесения стрелок (на сторонах секций) с указанием протекания тока в фазах.
Электрический ток, протекая по трёхфазной обмотке, все время изменяет величину и направление в каждой фазе, но для образования полюсов принимается момент, когда ток по двум фазам входит (стрелки направлены от начала фаз С1 и С2 к концам фаз С4 и С5, токи имеют половинное значение), а по третьей фазе ток выходит (стрелки направлены от конца фазы С6 к началу фазы С3, ток имеет максимальное значение).
На рис. 4–25 в схемах стрелки, направленные вверх, допустим, образуют северные полюса, а стрелки, направленные вниз, образуют южные полюса.
Схемы, выполненные развернутыми, с расположением сторон секций по пазам, считаются правильно составленными, когда полюса северные и южные численно равны и периодически чередуются, а общее их число будет четное и равно расчетным (заданным).
Схемы на рис. 30–35, образованные с условными катушечными группами, считаются правильно выполненными, когда стрелки, указанные над ними (нижний ряд), при соединении имеют направление: в однослойных обмотках в одну сторону, а в двухслойных, однослойныхв "развалку", цепных и одно–двухслойных – с направлением периодического чередования в разные стороны. Такое же периодическое чередование направления стрелок при соединении двухслойных обмоток должно быть и над условными катушечными группами, относящимися к любой фазе обмотки.

→ ← → ← → ←
I ф – 1 4 7 10 13 16 и т. д.;

← → ← → ← →
II ф – 2 5 8 11 14 17 и т. д.;

→ ← → ← → ←
III ф – 3 6 9 12 15 18 и т. д.;

Учитывая изложенное, следует, что началами фаз можно считать начало или конец любой КГ, лишь бы было соблюдено направление прохождения тока, которое создает правильное образование и чередование полюсов (северных и южных), причем начало фаз может быть смещено друг от друга на 120, 240, 360, 480 и т. д. электрических градусов. Именование начало или конец КГ является условным и зависит от направления соединения схемы вправо (по часовой стрелке) или влево (против часовой стрелки).
Так как в однослойных обмотках для правильного образования полюсов направление стрелок должно быть в одну сторону, то началом фаз будет только начало от любой КГ, т. е. ток должен входить в начало КГ, а выходить в конец. В двухслойных обмотках, однослойных "в развалку", цепных и одно–двухслойных для правильного образования полюсов направление стрелок чередуется, поэтому началами фаз могут быть начало или конец КГ, т. е. ток должен в одних КГ входить в начало, а выходить в конец, в других КГ наоборот: ток – входить в конец, выходить – в начало. В практике встречаются случаи, когда на электроремонтных предприятиях при составлении схем последовательных однослойных обмоток с разрезными КГ одни обмотчики принимают за начало фаз начало от КГ, расположенных рядом на 120 градусов (от 1, 2 и 3–й), другие – через одну КГ на 240 градусов (от 1, 3 и 5–й), что зависит от навыка и привычки.
Составляя схемы обмоток, необходимо учитывать экономию провода и изоляционных трубок, поэтому начало фаз необходимо принимать от КГ, расположенных ближе к отверстию для выводов, при этом выбранные начала фаз одновременно должны обеспечить простейшее одинаковое соединение с определенной закономерностью между последующими КГ в фазах. Смещение начал фаз на разное число электрических градусов можно наблюдать при образовании параллельных ветвей (рис. 34, 35).

15. Некоторые особенности обмоток.

Типов и разновидностей обмоток трехфазного тока имеется большое количество, но их можно различать по двум существенным признакам.
Если в катушечной группе все стороны полных секций или полусекций находятся в пазах своей фазной зоны, то такие обмотки будут диаметральные и называются обмотками со сплошной фазной зоной.
Такие обмотки приведены на рис. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14 – однослойные обмотки равносекционные и концентрические с полным числом пазов на полюс и фазу и "в развалку".
К ним относятся также однослойные обмотки в "развалку" с нечетным числом пазов на полюс и фазу с расчесанной секцией при нечетном $q = 3; 5$ или при дробном $q = 1{,}5; 2{,}5$ с полусекцией, приведенные на рис. 10, 11, 15, 16, 17.
Несмотря на то, что в отдельных пазах стороны полусекций располагаются от разных фаз, обмотка считается диаметральной со сплошной фазной зоной (зоны фаз делятся не по зубцам, а в пазах) и называется комбинированной.
Когда одна или несколько секций, или полусекций заходят в пазы другой зоны за счет укорочения шага, то эта обмотка называется обмоткой с не сплошной фазной зоной.
К таким обмоткам относятся – двухслойные, цепные, одно–двухслойные, приведенные на рис. 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25.

Цепные и двухслойные обмотки с диаметральным и удлиненным шагом выполнять нецелесообразно, так как в первом случае не улучшаются характеристики электродвигателей, а во втором – перерасходуется обмоточный провод.
В справочном пособии приведены все обмотки, применяемые заводами–изготовителями для односкоростных трехфазных электродвигателей, но не все их целесообразно внедрять на ремонтных предприятиях.

В настоящее время заводы применяют однослойные обмотки с концентрическими секциями, что позволило при проектировании уменьшить размеры (габариты) электродвигателей и дало возможность внедрить механическую укладку путем втягивания секций и размещения катушечных групп фаз ярусами.
Концентрические обмотки являются более надежными в эксплуатации, так как секции в катушечных группах не пересекаются, а входят друг в друга, находясь в одной плоскости, за счет чего уменьшается толщина лобовой части и исключается витковое замыкание при динамических усилиях между секциями по сравнению с равносекционными обмотками. Кроме того, при выполнении их не требуется соблюдение правил согласованности между заготовкой и укладкой обмотки, что исключает ошибки, возможные при равносекционной обмотке.
На ремонтных предприятиях из–за отсутствия дорогостоящих специальных станков и приспособлений, а также наличия разнообразия серий и типоразмеров электродвигателей укладка обмотки производится вручную, поэтому одно–двухслойную обмотку и однослойную с наличием полусекций иногда заменяют двухслойной равносекционной, как менее трудоемкой. При необходимости замены обмоток на другой тип необходимо не только соответственно изменить число эффективных проводников в пазе, но и сохранить в электродвигателе все характеристики, особенно электромагнитные. Электромагнитные характеристики новой обмотки будут неизменны, если шаг обмотки остается эквивалентным. Эквивалентный шаг для новой обмотки считается таким, при котором сохраняются обмоточный коэффициент и кривая магнитного потока.

Несмотря на удобства, меньшую трудоемкость и экономичность на соединении схемы в однослойных равносекционных обмотках, все же ремонтникам рекомендуется выполнять их по возможности концентрическими, так как при механической укладке только они приводятся в каталогах, что позволит сохранить заводские размеры лобовых частей и избавить расчетчиков от дополнительного пересчета шага, а значит сохранить надежность работы электродвигателей.

III. Методы и последовательность расчета числа эффективных проводников в пазе статора и ротора.

После удаления старой обмотки из пазов замеряются длина и диаметр расточки сердечника статора, независимо от наличия или утраты паспортной таблички. После чего в соответствии с серией и напряжением электродвигателя, по числу полюсов, длине и расточке сердечника находятся в каталоге данные обмотки. В случае несовпадения длины сердечника по сравнению с каталогом (но при одинаковых остальных параметрах), необходимо произвести пересчет числа проводников путем пропорциональной зависимости. При отсутствии каталогов на электродвигатели (чаще это бывает для иномарок), удаляя старую обмотку, необходимо записать все ее данные для производства намотки новой. Если же по каким–либо причинам данные обмотки не записаны или вышедшая из строя обмотка была ранее перемотана по параметрам с отклонением от заводской (из–за чего электродвигатель вышел из строя), то производится расчет, для производства которого дополнительно замеряются ширина зубца и высота спинки сердечника статора.

Расчет обмоточных данных электродвигателя в основном сводится к определению числа эффективных проводников в пазе статора и ротора и размеру обмоточного провода. При отсутствии на электродвигателе паспортной таблички, помимо обмоточных данных, предварительно определяется число полюсов в заводском изготовлении, а при необходимости находятся номинальная и фазная сила тока, мощность и момент вращения.

16. Определение числа полюсов.

При отсутствии на электродвигателе паспортной таблички число полюсов электродвигателя определяется по формуле 1:

$$2p = \frac{0{,}35 \times Z \times b}{h} \quad \text{или} \quad 2p = \frac{0{,}5 \times D}{h} \quad (1)$$

где $2p$ – число полюсов электродвигателя; Z – число зубцов (пазов) статора; b – ширина зубца статора в *см.*; h – высота спинки статора в *см.*; D – диаметр расточки статора в *см.*

Эта формула применяется для восстановления числа полюсов в заводском исполнении электродвигателя или для проверки пригодности при изменении его на большую частоту вращения. Если по формуле 1 получается дробное число полюсов, то оно округляется до ближайшего целого четного числа, являющегося для электродвигателя минимальным, т. е. выполнение его на большей частоте вращения ограничивает высота спинки статора. Например, по расчету получилось дробное число 5,8. Округляем его до 6, значит, электродвигатель будет пригоден на 6 и более полюсов, тогда как на 4 полюса, а тем более на 2 полюса будет непригоден. При восстановлении обмотки или при перемотке ее с переходом на большую частоту вращения это условие является основным, поэтому пренебрегать этой проверкой – значит получить электродвигатель с плохими характеристиками.

17. Определение числа проводников в пазе статора.

При отсутствии на электродвигателе обмоточных данных эффективное число проводников в пазе статора определяется по формуле 2:

$$N = \frac{2p \times 10^5}{Z^2 \times L \times b \times B_3 \times K_{\text{у}}} \quad (2)$$

где N – число проводников в пазе статора; L – длина сердечника статора в *см.*; B_3 – величина магнитной индукции в зубцах статора в теслах (*Тл*, принимается по табл. 2); $K_{\text{у}}$ – обмоточный коэффициент укорочения шага (принимается по табл. 3), b – ширина зубца, *см.*

При расчете числа проводников для определенного числа полюсов статора за основу берется сечение зубцов ($b \times L$), так как от их магнитного насыщения зависит величина магнитного потока в воздушном зазоре, а, следовательно, и магнитодвижущая сила. Как видим, вторая формула является основной и содержит в себе число полюсов и ширину зубцов. По результатам этой формулы можно судить, при каком числе проводников в пазе статора с заданным числом полюсов будет нормальное магнитное насыщение зубцов статора.
Следовательно, выбор величины магнитной индукции в зубцах статора при расчете имеет главное значение.

В табл. 2 магнитная индукция в зубцах статора ($B_З$) и в табл. 4 плотности тока (j) указаны оптимальной величиной – соответствуют старым типам электродвигателей, в том числе серии А, АО, КО, МА с определенным числом полюсов и принимаются по мощности (P *кВт*) или диаметру расточки статора (D *см.*) в зависимости от исполнения: для открытого они максимальные, для закрытого – средние, взрывозащищенного – минимальные. При расчете электродвигателей новых серий необходимо данные величины табл. 2,4 увеличить: для А2, АО2, ВАО – на 5%, а для 4А, 4Н, ВР и иностранных марок – на 15%.

Таблица 2. Магнитные индукции; в зубцах (оптимальной величины) и в спинке (максимальной) в зависимости от числа полюсов и расточки статора или мощности, с учетом исполнения и серии электродвигателей.

Число полюсов $2p$	Магнитная индукция в зубцах – $B_З$, в *Тл*				Магнитная индукция в спинке – $B_С$ в *Тл*
	D до 12 *см.* P до 5 *кВт*	D 12–20 *см.* P 5–25 *кВт*	D 20–30 *см.* P 25–75 *кВт*	D > 30 *см.* P > 75 *кВт*	
$2p = 2$	1,55	1,40–1,65	1,30–1,65	1,20–1,65	1,65 (1,70)
$2p = 4$	1,60	1,45–1,60	1,35–1,60	1,35–1,60	1,60 (1,65)
$2p = 6$	1,65	1,50–1,70	1,40–1,70	1,42–1,60	1,60
$2p = 8$	1,75	1,55–1,75	1,45–1,75	1,45–1,75	1,55

В скобках в таблице данные для D >30 или мощностью P > 75 *кВт*.

Спинка статора в электродвигателе имеет назначение пропустить магнитный поток, образовавшийся в зубцах статора, не превысив допустимой температуры нагрева. Учитывая это, в табл. 2 магнитная индукция в спинке – $B_С$ предусмотрена максимально допустимой величины для всех электродвигателей и зависит только от числа полюсов. Величина магнитной индукции в спинке статора определяется по формуле 3 по расчетному числу эффективных проводников и сравнивается с данными табл. 2.

$$B_{\text{С}} = \frac{\pi \times 10^4}{Z \times L \times h \times N \times K_{\text{у}}} \quad (3)$$

Если при проверочном расчете магнитная индукция в спинке превысит величину, указанную в табл. 2, расчетное число проводников следует увеличить. Величину магнитной индукции в воздушном зазоре $B_В$ можно определить по формуле 4:

$$B_{\text{В}} = \frac{6 \times p \times 10^4}{Z \times L \times D \times N \times K_{\text{у}}} \quad (4)$$

При расчете числа проводников по предлагаемому методу магнитная индукция в воздушном зазоре не требуется, определять ее нет надобности, так как при конструировании электродвигателя она приблизительно в два раза меньше индукции в зубцах и предусмотрена в пределах 0,6 – 0,9 *Тл*. Мелкие электродвигатели порядка до 15 *кВт* выполняются однослойной обмоткой, а большей мощности – двухслойной. При выполнении простой однослойной обмотки шаг ее будет диаметральный и определяется по формуле 5:

$$y_{\text{Д}} = \frac{Z}{2p} \quad (5)$$

Число пазов на полюс и фазу (число секций или катушек в катушечной группе) определяется по формуле 6:

$$q = \frac{Z}{2p \times m} = \frac{Z}{2p \times 3} = \frac{Z}{p \times 6} \quad (6)$$

где q – число пазов на полюс и фазу; m – число фаз (для 3–х фазного двигателя m = 3).

Таблица 3. Наивыгоднейшее укорочение шага обмотки (β) и обмоточные коэффициенты (Kу) в зависимости от числа пазов на полюс и фазу (q), в соответствии количества пазов статора (Z) и числа полюсов ($2p$).

β	уу	q	Kу	Число полюсов/число пазов					
				2	4	6	8	10	12
3/3,75 = 0,8	3 (1–4)	1,25	0,95	–	15	–	30	–	45
4/4,5 = 0,89	4 (1–5)	1,5	0,99	9	18	27	36	45	54
5/6 = 0,83	5 (1–6)	2	0,97	12	24	36	48	60	72
6/6,75 = 0,89	6 (1–7)	2,25	0,99	–	27	–	54	–	81
6/7,5 = 0,8	6 (1–7)	2,5	0,95	15	30	45	60	75	90
7/9 = 0,78	7 (1–8)	3	0,94	18	36	54	72	90	–
8/9 = 0,89	8 (1–9)	3	0,99	18	36	54	72	90	–
7/12 = 0,58	7 (1–8)	4	0,79	24	–	–	–	–	–
8/12 = 0,67	8 (1–9)	4	0,87	24	–	–	–	–	–
9/12 = 0,75	9 (1–10)	4	0,92	24	–	–	–	–	–
10/12 = 0,83	10 (1–11)	4	0,97	24	48	72	96	–	–
11/15 = 0,73	11 (1–12)	5	0,91	30	60	–	–	–	–
12/15 = 0,8	12 (1–13)	5	0,95	–	60	90	–	–	–
13/15 = 0,87	13 (1–14)	5	0,98	–	60	90	–	–	–
11/18 = 0,61	11 (1–12)	6	0,82	36	–	–	–	–	–
12/18 = 0,67	12 (1–13)	6	0,87	36	–	–	–	–	–
13/18 = 0,73	13 (1–14)	6	0,91	36	–	–		–	–
14/18 = 0.78	14 (1–15)	6	0,94	36	–	–	–	–	–
15/18 = 0,83	15 (1–16)	6	0,97	36	72	–	–	–	–
13/24 = 0,54	13 (1–14)	8	0,75	48	–	–	–	–	–
14/24 = 0,58	14 (1–15)	8	0,79	48	–	–	–	–	–
15/24 = 0,63	15 (1–16)	8	0,83	48	–	–	–	–	–
16/24 = 0,67	16 (1–17)	8	0,87	48	–	–		–	–
17/24 = 0,71	17 (1–18)	8	0,91	48	–	–	–	–	–

При выполнении двухслойной или цепной обмотки с укороченным шагом число проводников в пазе возрастает в величину обмоточного коэффициента укорочения шага обмотки (Kу). Для таких обмоток число пазов на полюс и фазу, как и при однослойной обмотке, определяется по формуле 6. Укороченный шаг обмотки необходимо принимать, задаваясь его величиной по сравнению с диаметральным шагом.

В табл. 3 для электродвигателей, выпускаемых заводами, приведены наивыгоднейшие укороченные шаги при определенном числе пазов на полюс и фазу, каждому из них соответствуют рассчитанные обмоточные коэффициенты укорочения. Обмоточный коэффициент распределения обмотки учтен при выводе формул ($K_р$ = 0,96) и в приведенные в табл. 3 величины не входит.

Число проводников, полученное расчетом по формулам 2, 3, 3а, 4, соответствует только электродвигателю с обмоткой, напряжением 220/380 в, соединением выводов △/Y частотой тока 50 гц (частота и фазное напряжение 220 в одинаковы для обоих соединений, подставлены при выводе формул).

На паспортной табличке электродвигателя указаны номинальные (линейные) величины: подводимое напряжение Uн (Uл) и потребляемый ток Iн (Iл), тогда как в обмотке напряжение и ток будут фазные Uф и Iф, их величины зависят от сопряжения выводов обмотки – в треугольник Uф = Uн и Iф = Iн/1,73 в звезду Uф = Uн / 1,73 и Iф = Iн.

Наличие на паспортной табличке двух напряжений обозначает: меньшее соответствует соединению выводов в треугольник, а большее – в звезду, а наличие двух токов – наоборот. При напряжении 380/660 *в*, △/Y, с наличием параллельных ветвей (a) число проводников в пазе можно определить по формуле 2а:

$$N = \frac{2p \times a \times 1{,}73 \times 10^5}{Z^2 \times L \times B_3 \times K_у} \quad (2а)$$

17. 1. Пересчет числа проводников на другое напряжение.

Для этого приводится формула 7:

$$N_Н = \frac{N_C \times U_Н}{U_C} \quad (7)$$

где Nс, Uс, Nн, Uн – старое и новое число проводников в пазе статора и напряжение в *в*.

17. 2. Пересчет числа проводников по длине сердечника статора.

Это производится путем пропорциональной зависимости по формуле 8:

$$N_Н = \frac{N_C \times L_C}{L_Н} \quad (8)$$

где: Nс, Lс – длина сердечника в *см*. и число проводников в пазе электродвигателя с известными данными;
Nн, Lн – то же, с неизвестными данными, но одинаковыми остальными размерами сердечника (кроме длины). Тип обмотки и шаг принимаются по данным электродвигателя.

17. 3. Определение числа проводников в пазе фазного ротора.

Для этого можно пользоваться формулой 9:

$$N_2 = \frac{U_2 \times N \times Z}{U \times Z_2} \quad (9)$$

где Z, Z_2 – N, N_2 – U, U_2 – число пазов, число проводников в пазе и напряжение статора и ротора. Тип обмотки ротора может быть неодинаков со статором. Напряжение в формулу подставляется как для статора, так и для ротора одинаково: или фазное, или линейное. На кольцах ротора нет стандартного напряжения, а задается лишь допустимая величина (для электродвигателей малой мощности в пределах 100–220 и большой – 220–340 вольт). Так как в роторе можно принять (в пределах норм) любое напряжение, то нет необходимости в формулу вводить разницу в обмоточных коэффициентах. Во – первых, эта величина очень незначительна, ею можно пренебречь; во – вторых, при отклонении расчетного числа проводников в пазе ротора изменяется принятое напряжение и сила тока, при этом мощность ротора остается прежней.

17. 4. Пересчет числа проводников в пазе статора на другую частоту тока.

Потребность в электродвигателях с вращением более 3000 *об. мин.* создала необходимость изготовления специальных преобразователей частоты тока на 75, 100, 125, 150, 175, 200 и более герц, которые имеют напряжение 330/570 *в*, соединением выводов △/Y.

Путем различных соединений выводов обмоток преобразователя частоты тока и электродвигателей нормального исполнения напряжением 127/220, 220/380, 380/660 *в*, на 50 *гц* можно подобрать для их питания номинального напряжения от преобразователя. Например, если преобразователь имеет частоту тока 75 *гц*, то его напряжения точно соответствуют числам проводников в пазах статора: для электродвигателя 127/220 *в* при включении его обмотки звездой необходимо 330 *в*, для электродвигателя 380/660 *в* при включении его обмотки треугольником необходимо 570 *в*, а для электродвигателя 220/380 *в* при включении обмотки треугольником или звездой необходимо 330/570 *в*. Эти электродвигатели можно использовать при другой частоте тока.

Без замены обмотки, в зависимости от увеличения частоты тока, мощность указанных электродвигателей повысится при 75 *гц* на 50 процентов, при 100 *гц* – на 12 процентов, а снизится: при 125 *гц* на 10 процентов, при 150 *гц* – на 25 процентов, при 175 *гц* – на 35 процентов и при 200 *гц* на 40 процентов. Связано это с несоответствием числа проводников в пазе статора электродвигателя и частотой тока преобразователя. При этом число оборотов электродвигателя в соответствии формулы 10 увеличится пропорционально повышению частоты тока:

$$n_{\text{Н}} = \frac{n_{\text{С}} \times f_{\text{Н}}}{f_{\text{С}}} \quad (10)$$

Если при повышенной частоте тока более чем 75 *гц* необходимо соответственно увеличить мощность электродвигателя, то необходимо заменить обмотку статора, при этом пересчет числа проводников производится по формуле 11, а величины мощности – по формуле 12.

$$N_{\text{Н}} = \frac{N_{\text{С}} \times f_{\text{С}} \times U_{\text{Н}}}{f_{\text{Н}} \times U_C} \quad (11)$$

$$P_{\text{Н}} = \frac{P_C \times U_{\text{Н}} \times N_C}{U_C \times N_{\text{Н}}} \quad (12)$$

где: Nн, Nс – новое и старое число эффективных проводников;
$n_{\text{Н}}$, $n_{\text{С}}$ – новое и старое числа *об. мин.* электродвигателя;
Pн, Pс – новая и старая мощность электродвигателя в *кВт*;
Uн, Uс– новое и старое напряжение в *в*;
fн, fс – новая и старая частота тока в *гц*.

Обычно увеличение числа оборотов производят для электродвигателей с малым диаметром расточки статора серии "МД" или им подобным, конструкция которых позволяет увеличивать обороты, с учетом повышений окружной скорости ротора, надежности подшипников и рабочего конца вала. Окружная скорость ротора допускается: для фазного – 30–40 *м/сек.*, короткозамкнутого – 40–60 *м/сек.* и определяется по формуле 13:

$$V_P = \frac{\pi \times D_2 \times n_{\text{Н}}}{60 \times 100} \quad \text{м/сек} \;\; (13)$$

где: $V_{\text{Р}}$ – окружная скорость ротора в м/сек; D_2 – диаметр ротора в *см.*; $n_{\text{Н}}$ – асинхронная частота вращения электродвигателя, *об/мин*; π = 3,14. При перемотке обмотки электродвигателя на меньшее число полюсов необходимо проверить допустимость увеличения лобовой части, обеспечивающей расстояние до подшипниковых щитов.

17. 5. Пересчет числа проводников в пазе статора на другую частоту вращения.

Изменение частоты вращения электродвигателя связано с заменой обмотки по новым данным, что влечет к изменению числа проводников в пазе статора, а, следовательно, и магнитного потока, и мощности. Для получения соответствующей величины магнитного потока при новом числе полюсов необходимо выбрать метод и произвести пересчет обмоточных данных.

Рассмотрим расположение в электродвигателе магнитных силовых линий и их перераспределение при изменении числа пар полюсов. Допустим, электродвигатель рассчитан на частоту вращения 3000 *об. мин.* (p = 1), при этом магнитный поток в зубцах имеет условно 12 магнитных линий, а при перемотке его обмотки на 1500 *об. мин.* (p = 2) будет иметь 6, при 1000 *об. мин.* (p = 3) будет 4 и так далее, при этом в спинке статора их в два раза меньше (рис. 2).
Из рисунка видно, что с изменением числа пар полюсов пропорционально изменяется ширина полюсного деления, а значит, и число зубцов на полюс. Одновременно с этим новому числу проводников в пазе статора пропорционально соответствует величина магнитного потока. Такая взаимосвязь обеспечивает нормальное насыщение зубцов магнитным потоком. Отсюда можно заключить, что при изменении числа пар полюсов, несмотря на изменение величины магнитного потока, а значит, и мощности электродвигателя, величина магнитной индукции в зубцах остается в основном неизменной.
Учитывая вышеизложенное, пересчет обмотки на меньшие обороты для всех электродвигателей необходимо производить по формуле 2:

$$N_{\text{П}} = \frac{2p \times 10^5}{Z^2 \times L \times b \times B_{\text{З}} \times K_{\text{У}}} \quad (2)$$

В формулу подставляется новое, большее число полюсов и соответственно им из табл. 2 берется показатель магнитной индукции в зубцах, а из табл. 3 – новый обмоточный коэффициент укорочения, если обмотка двухслойная.
При пересчете на меньшие обороты, как указывалось выше, в зубцах будет в основном сохранена нормальная магнитная индукция, тогда как в спинке обязательно снизится пропорционально уменьшению магнитного потока, поэтому проверять в ней максимально допустимую величину магнитной индукции нет необходимости. Мощность электродвигателя уменьшится пропорционально уменьшению числа оборотов или пропорционально уменьшению сечения провода. Замену обмотки электродвигателя на меньшую частоту вращения можно производить на одну или несколько ступеней оборотов.
Сложнее дело обстоит при изменении электродвигателя на большую частоту вращения. Пересчет обмотки электродвигателя на большую частоту вращения по этой формуле производить нельзя из–за недостаточной высоты (сечения) спинки статора, если завод изготовил его на одну ступень оборотов.
Спинка имеет определенный (постоянный) размер, поэтому при увеличении числа пар полюсов разгружается от уменьшенного магнитного потока, при этом магнитная индукция снижается, а с уменьшением числа пар полюсов загружается увеличенным магнитным потоком, а значит, повышается магнитная индукция и может достигнуть значительно выше допустимого предела.
Для пересчета обмотки электродвигателей на большую частоту вращения необходимо применять преобразованную формулу 3 с учетом высоты спинки:

$$N_{\text{Н}} = \frac{\pi \times 10^4}{Z \times L \times h \times B_C \times K_{\text{У}}} \quad (3а)$$

При увеличении частоты вращения электродвигателя увеличивается и полюсное деление. Несмотря на возрастание магнитного потока, магнитная индукция в зубцах в основном остается неизменной, поэтому проверять максимально допустимую ее величину излишне.

Помимо формул 2, 3а, для пересчета всех электродвигателей на меньшие обороты и на большие обороты электродвигателей, изготовленных заводом с одинаковым сердечником на две ступени оборотов, обычно 1500 и 1000, 1000 и 750 *об. мин.* и т. д., при этом если их обмотка выполнена на низшей ступени оборотов, можно пользоваться расчетом пропорциональной зависимости между числом проводников в пазе статора и числом пар полюсов по формуле 14:

$$N_{\text{Н}} = \frac{N_C \times p_{\text{Н}}}{p_C} \quad (14)$$

где Nс, Nн – старое и новое число проводников; pс, pн – старое и новое число пар полюсов. Так как с изменением частоты вращения электродвигателя изменяется число пазов на полюс и фазу, шаг обмотки и (незначительно) магнитная индукция, то необходимо при переходе на меньшие обороты – уменьшить, а при переходе на большие обороты – увеличить результат, полученный по формуле 14, на коэффициент изменения обмотки Kи = 1,1.

У электродвигателей, изготовленных на две ступени оборотов, высота спинки позволяет пропустить увеличенный магнитный поток для высшей ступени оборотов при большой мощности электродвигателя. В этом случае мощность электродвигателя увеличивается пропорционально уменьшению числа пар полюсов (при уменьшении числа проводников в пазе статора).

Электродвигатели, изготовленные заводом на одну ступень оборотов, у которых высота спинки рассчитана строго для определенного магнитного потока (несмотря на принимаемую максимальную величину магнитной индукции в спинке), при пересчете на большие обороты число проводников в пазе статора уменьшается незначительно, а зачастую остается таким же, каким оно было на меньших оборотах. Такие электродвигатели имеют очень низкую магнитную индукцию в зубцах статора (за счет слабого насыщения магнитным потоком) и малый ток холостого хода, а, следовательно, недостаточные пусковой и вращающий моменты. Мощность может при этом незначительно повыситься или останется прежней, или даже снизится по сравнению с начальными показателями электродвигателя до увеличения частоты вращения. Если электродвигатель изготовлен на одну ступень оборотов, то увеличивать частоту вращения можно, при условии, если спинка имеет запас сечения и только на одну ступень оборотов с 1000 на 1500, с 750 на 1000 *об. мин.* и т. д., а на 3000 *об. мин.* вообще не допускается, так как в этом случае будет самый наихудший вариант, при котором полюсное деление и магнитный поток увеличиваются не менее как в два раза, а размер спинки остается неизменным.

Таблица 4. j – плотности тока $A/мм^2$, произведение коэффициентов cosφ – мощности и η – полезного действия, Iх – тока холостого хода в процентах от номинального тока, в зависимости от числа оборотов и мощности электродвигателя или диаметра расточки сердечника.

P кВт	*D см.*	3000 (2*p* = 2)			1500 (2*p* = 4)			1000 (2*p* = 6)			750 (2*p* = 8)		
		j	*I*х	*cos*φ×η	*j*	*I*х	*cos*φ×η	*j*	*I*х	*cos*φ×η	*j*	*I*х	*cos*φ×η
до 1	до 10	6,3	45	0,62	6,2	60	0,61	6,1	70	0,60	6,0	80	0,59
1–5	10–15	4,9–5,9	40	0,67	4,8–5,8	55	0,66	4,7–5,7	65	0,65	4,6–5,6	75	0,64
5–25	15–20	4,4–5,8	35	0,76	4,3–5,7	50	0,75	4,2–5,6	60	0,73	4,1–5,6	70	0,72
25–75	20–25	4,3–5,7	30	0,81	4,2–5,6	40	0,80	4,1–5,5	50	0,78	4,0–5,4	60	0,77
75–100	25–30	3,2–5,6	25	0,84	4,1–5,5	30	0,82	4,0–5,,4	40	0,80	3,9–5,3	50	0,79
св 100	св 30	3,8–4,8	20	0,86	3,7–4,8	25	0,84	3,6–4,7	30	0,82	3,5–4,6	35	0,81

IV. Методы расчета сечения провода, силы тока, мощности и момента вращения электродвигателя.

18. Определение сечения эффективного проводника, силы тока и мощности.

При отсутствии обмоточных данных на электродвигатель сечение провода определяется по трем методам.

Первый метод.

Независимо от того, имеется или утрачена паспортная табличка на электродвигателе, сечение провода определяется методом предварительного заполнения паза. В один паз статора вставляется корпусная изоляция (коробочка) и заполняется стальными спицами из бандажной проволоки, одинакового диаметра (шаблонами), с установкой необходимых прокладок и клина (шпуги).

Для заполнения паза всех габаритов статоров достаточно четыре размера стальных спиц с диаметром 0,8 *мм*., длиной 250 *мм*. – 110 шт., 1,2 *мм*. длиной 350 *мм*. – 90 шт., 1,5 *мм*. длиной 400 *мм*. – 70 шт. и 2 *мм*. длиной 450 *мм*. – 50 шт., которые надо условно считать как диаметры проводов с изоляцией. Уменьшая диаметры спиц на изоляцию проводов эмалью, получим условно пробные диаметры обмоточных проводов без изоляции с соответствующими сечениями:

d_1 = 0,71/0,8 *мм*. – S_1 = 0,396 *мм*^{2},
d_2 = 1,06/1,2 *мм*. – S_2 = 0,916 *мм*^{2},
d_3 = 1,35/1,5 *мм*. – S_3 = 1,43 *мм*^{2},
d_4 = 1,8/2 *мм*. – S_4 = 2,54 *мм*^{2}.

Если заводская обмотка электродвигателя была выполнена проводом ПЭЛБО, ПБД, то для получения расчетных условных диаметров без изоляции надо диаметры стальных спиц уменьшить на двойную изоляцию. После заполнения паза (с нормальным уплотнением) просчитывается количество пробных стальных спиц, вместившихся в него, и определяется сечение эффективного (расчетного) проводника по формуле 15:

$$S = \frac{N_{\text{П}} \times S_{\text{П}}}{N} \quad (15)$$

где N, S и $N_{\text{П}}$, $S_{\text{П}}$ – количество и сечение в *мм*^{2} эффективных проводников и пробных спиц. В зависимости от наличия ассортимента (диаметров) проводов в ремонтном цехе по табл. 5 подбираем сечение элементарного проводника ($S_{\text{Э}}$) и определяем количество элементарных проводников ($N_{\text{Э}}$) в эффективном проводнике:

$$N_{\text{Э}} = \frac{S}{S_{\text{Э}}} \quad (16) \quad S_{\text{Э}} = \frac{S}{N_{\text{Э}}} \quad (16\text{а})$$

При большом количестве элементарных проводников образуют параллельные ветви, при этом их количество должно быть кратным возможному числу параллельных ветвей (a). При образовании параллельных ветвей количество эффективных проводников увеличивается, а количество элементарных проводников или их сечение уменьшается в число раз параллельных ветвей. Общее число проводников в пазе (Nо) равно произведению количества эффективных и элементарных проводников:

$$N_{\text{О}} = N \times N_{\text{Э}} \quad (16\text{б})$$

Сечение фазы равно произведению сечения элементарного проводника на количество элементарных проводников и число параллельных ветвей:

$$S_{\text{Ф}} = S_{\text{Э}} \times N_{\text{Э}} \times a \quad (17)$$

Произведение чисел параллельных ветвей и элементарных проводников является постоянной величиной, поэтому они взаимозаменяемы. Например, с шестью элементарными проводниками можно составить обмотку: при, a = 1, $N_Э$ = 6 или при a = 2, $N_Э$ = 3, или при a = 3, $N_Э$ = 2, при a = 6, $N_Э$ = 1. Произведение $a \times N_Э = 1 \times 6 = 2 \times 3 = 3 \times 2 = 6 \times 1 = 6$ остается неизменным. Это говорит о том, что при конструировании электродвигателей или замене обмотки в процессе ремонта можно принимать любые возможные числа параллельных ветвей и элементарных проводников.

Таблица 5. Размеры обмоточных проводов нового стандарта без изоляции и их замена.

d	S	Замена одного диаметра двумя			
		1–й вариант	2–й вариант	3–й вариант	4–й вариант
0,3	0,071	0,212 × 2			
0,315	0,078	0,224 × 2			
0,335	0,088	0,236 × 2			
0,355	0,099	0,25 × 2			
0,375	0,11	0,265 × 2			
0,4	0,126	0,28 × 2			
0,425	0,142	0,3 × 2			
0,45	0,159	0.315 × 2	0,3 + 0,335		
0,475	0,177	0,335 × 2	0,315 + 0,355		
0,5	0,196	0,355 × 2	0,3 + 0,4	0,375 + 0,315	
0,53	0,221	0,375 × 2	0,335 + 0,4	0,315 + 0,425	
0,56	0,246	0,3 + 0,475	0,375 + 0,4	0,335 + 0,45	
0,6	0,283	0,425 × 2	0,4 + 0,45	0,475 + 0,375	
0,63	0,312	0,45 × 2	0,425 + 0,475	0,5 + 0,375	
0,67	0,353	0,475 × 2	0,5 + 0,45	1,4 + 0,53	
0,71	0,396	0,5 × 2	0,53 + 0,475	0,56 + 0,425	
0,75	0,442	0,53 × 2	0,56 + 0,5	0,6 + 0,45	
0,8	0,503	0,56 × 2	0,63 + 0,5	0,67 + 0,425	
0,85	0,567	0,6 × 2	0,56 + 0,63	0,67 + 0,53	
0,9	0,636	0,63 × 2	0,67 + 0,6	0,71 + 0,5	
0,95	0,709,	0,67 × 2	0,71 + 0,63	0,75 + 0,56	
1	0,785	0,71 × 2	0,85 + 0,53	0,75 + 0,63	
1,06	0,883	0,75 × 2	0,85 + 0,63	0,8 + 0,67	
1,12	0,985	0,8 + 0,75	0,9 + 0,67	0,85 + 0,71	
1,18	1,094	0,85 + 0,8	0,9 + 0,75	0,67 + 0,95	1 + 0,63
1,25	1,227	0,9 + 0,85	1 + 0,75	0,8 + 0,95	1,06 + 0,67
1,32	1,368	0,9 × 2	1 + 0,85	0,67 + 1,12	1,06 + 0,75
1,4	1,539	1 + 0,95	1,06 + 0,9	0,75 + 1,18	1,12 + 0,8
1,5	1,767	1,06 × 2	1,12 + 1	0,9 + 1,18	1,25 + 0,8
1,6	2,011	1,12 × 2	1,25 + 1	1,32 + 0,9	1,18 + 1,06
1,7	2,27	1,18 × 2	1,32 + 1,06	1,25 + 1,12	1,4 + 0,95
1,8	2,54	1,25 × 2	1,4 + 1,12	1,18 + 1,32	0,95 + 1,5
1,9	2,83	1,32 × 2	1,5 + 1,12	1,4 + 1,25	1 + 1,6
2	3,14	1,4 × 2	1,5 + 1,32	1,6 + 1,18	1,7 + 1
2,12	3,53	1,5 × 2	1,6 + 1,4	1,4 + 1,25	1,8 + 1,12
2,24	3,94	1,6 × 2	1,4 + 1,7	1,9 + 1,18	1,8 + 1,32
2,36	4,36	1,8 + 1,5	1,9 + 1,4	2 + 1,25	1,6 + 1,7
2,5	4,91	1,8 + 1,7	1,9 + 1,6	2 + 1,5	2,12 + 1,32
2,65	5,43	1,7 + 2	1,8 + 1,9	2,12 + 1,5	2,24 + 1,32
2,8	6,15	2 + 1,9	2,36 + 1,5	2,24 + 1,7	2,12 + 1,8
3	6,67	2,12 + 2	2,36 + 1,7	2,5 + 1,5	2,24 + 1,9

Обычно элементарные проводники должны быть одинакового диаметра, но можно их подбирать и с различными диаметрами. Наличие в обмотке элементарных проводников разного диаметра позволяет точнее подобрать сечение параллельных ветвей и эффективного проводника, а близкие диаметры их к заменяемым с одинаковым диаметром – равнозначны по заполнению паза.

Таблица 6. Размеры обмоточных проводов старого стандарта (отмененного) без изоляции и замена их новыми.

*d*с	*S*с	*d*н	Замена одного старого диаметра двумя новыми		
			1–й вариант	2–й вариант	3–й вариант
0,41	0,132	0,4	0,3 + 0,28		
0,44	0,152	0,425	0,225 + 0,3		
0,47	0,173	0,475	0,375 + 0,28		
0,49	0,189	0,5	0,315 + 0,375		
0,51	0,204	0,5	0,375 + 0,335	0,315 + 0,4	
0,55	0,238	0,53	0,4 + 0,375	0,335 + 0,45	
0,57	0,255	0,56	(0,4) 2	0,425 + 0,375	
0,59	0,273	0,6	0,425 + 0,4	0,45 + 0,375	
0,62	0,302	0,6	0,45 + 0,425	0,475 + 0,4	
0,64	0,322	0,63	(0,45) 2	0,475 + 0,425	
0,69	0,375	0,67	0,5 + 0,475	0,53 + 0,45	0,56 + 0,4
0,72	0,407	0,71	0,53 + 0,475	0,56 + 0,45	0,6 + 0,4
0,74	0,43	0,71	0,53 + 0,5	0,56 + 0,475	0,6 + 0,425
0,77	0,466	0,75	0,56 + 0,53	0,6 + 0,475	0,63 + 0,45
0,83	0,541	0,8	0,6 + 0,56	0,63 4– 0,53	0.67 + 0,475
0,86	0,581	0,85	0,63 + 0,6	0,67 + 0,53	0,71 + 0,5
0,93	0,679	0,9	0,67 + 0,63	0,8 + 0,475	0,75 + 0,53
0,96	0,724	0,95	0,71 + 0,63	0,8 + 0,53	0,75 + 0,6
1,04	0,849	1	0,75 + 0,71	0,8 + 0,67	0,83 + 0,63
1,06	0,916	1,06	0,8, + 0,71	0,85 + 0,67	0,6 + 0,9
1,16	1,06	1,12	0,85 + 0,8	0,9 + 0,75	0,71 + 0,9
1,2	1,13	1,18	(0,85) 2	1 + 0,67	0,8 + 0,9
1,3	1,33	1,25	0,95 + 0,9	1 + 00,8	0,75 + 1,06
1,35	1,43	1,32	(0,95) 2	1 + 0,9	0,75 + 1,12
1,45	1,65	1,4	(1) 2	1,06 + 0,9	1,18 + 0,85
1,56	1,91	1,5	1,12 + 1,06	1,25 + 0,95	1,32 + 0,85
1,62	2,06	1,6	1,18 + 1,12	1,25 + 1,06	1,32 + 1
1,68	2,22	1,7	(1,18) 2	1,25 + 1,12	1,06 + 1,32
1,74	2,38	1,7	1,25 + 1,18	1,32 + 1,06	1,4 + 1
1,81	2,57	1,8	1,25 + 1,32	1,4 + 1,12	1,5 + 1,06
1,88	2,78	1,9	(1,32) 2	1,4 + 1,25	1,5 + 1,12

Примечание: Для замены одного провода тремя или четырьмя необходимо принятые провода разложить дополнительно.

По сечению эффективного проводника или сечению фазы (при наличии параллельных ветвей) по формуле 18 определяется фазный ток:

$$I_{Ф} = S \times j \times A \quad (18)$$

Мощность электродвигателя с фазными параметрами определяется по формуле 19:

$$P = 3 \times U_{\Phi} \times I_{\Phi} \times \cos\varphi \times \eta \times 10^{-3} \text{ кВт} \quad (19)$$

А с номинальными (линейными) величинами формула мощности изменится следующим образом:

$$P = \sqrt{3} \times U_{\text{Н}} \times I_{\text{Н}} \times cos\,\varphi \times \eta \times 10^{-3} \text{ кВт} \quad (19а)$$

Плотность тока ($j\,A/мм^2$) и произведение коэффициентов мощности (cos φ) и полезного действия (η) принимаются из табл. 4.

Второй метод.
Если на электродвигателе сохранилась паспортная табличка, то сечение эффективного проводника или фазы определяется по фазной силе тока (Iф) и плотности тока (j).

$$S = \frac{I_{\Phi}}{j} \text{ мм}^2 \quad (20)$$

Но на паспортной табличке электродвигателя указана номинальная (линейная) сила тока $I_{\text{Н}}$ ($I_{\text{Л}}$), поэтому формула 20 пригодна при сопряжении фаз в звезду, а при треугольнике она будет выглядеть так:

$$S = \frac{I_{\text{Н}}}{\sqrt{3 \times j}} \text{ мм}^2 \quad (20а)$$

j – плотность тока принимается по табл. 4.

Третий метод.
Наличие паспортной таблички на ремонтируемом электродвигателе позволяет сравнить с каталогом, в котором имеются данные электродвигателя подобной серии, соответствующего исполнения, числа полюсов, мощности, напряжения и класса изоляции. У таких электродвигателей при одном напряжении (380 *в*) питающей сети и с одинаковым соединением обмоток сечения фаз равны между собой, а сечение фазы при соединении обмотки в треугольник в 1,73 раза меньше сечения фазы с соединением обмотки в звезду.
Если произведен перерасчет числа эффективных проводников в пазе статора обмотки электродвигателя на другое напряжение, другую частоту тока, другие обороты или другую длину сердечника статора, то для пересчета сечения эффективного проводника и мощности электродвигателя применяется простой метод пропорциональной зависимости между этими параметрами. Выполняется он по формулам 21 и 22:

$$S_{\text{Н}} = \frac{N_C \times S_C}{N_{\text{Н}}} \quad (21)$$

$$P_{\text{Н}} = \frac{P_C \times S_{\text{Н}}}{S_C} \quad (22)$$

где $P_{\text{С}}$, $N_{\text{С}}$, $S_{\text{С}}$ – мощность в *кВт*, число и сечение в $мм^2$ эффективных проводников старого (с известными данными) электродвигателя; $P_{\text{Н}}$, $N_{\text{Н}}$, $S_{\text{Н}}$ – то же с новыми данными.
В зависимости от силы тока или мощности электродвигателя, по табл. 7 выбирают сечение установочного провода для выводных концов.

Таблица 7. Размеры сечения выводных концов (S *мм*^{2}) и их плотности тока (j A/*мм*^{2}), допустимая сила тока (I, A), толщина корпусной изоляции (гильз) для электродвигателей на 380 *в*.

Мощность P *кВт*	Сечение выводов *мм*^{2} при соединении обмотки		Плотность тока A/*мм*^{2}	Сила тока I, A	Толщина гильз
	Y и △ на 3 конца Y на 6 концов	на 6 концов △			
до 1	0,5	0,35	10	5	0,2
1–2	0,75	0,5	9,5	7	0,22
2–3	1	0,75	9	9	0,22
3–5	1,5	1	9	14	0,27
5–10	2,5	1,5	9	23	0,27
10–15	4	2,5	8,5	35	0,3
15–25	6	4	8	50	0,35
25–40	10	6	7,5	75	0,35
40–60	16	10	7	110	0,4
60–80	25	16	6	150	0,4
80–110	35	25	5	190	0,4
110–140	50	25	5	250	0,5
140–170	70	35	4,5	310	0,5
170–200	90	50	4	360	0,6
200–250	110	50	4	440	0,6
250–300	125	70	4	500	0,8
300–400	140	70	4	560	0.8

19. Определение момента вращения электродвигателя.

$$M = \frac{975 \times P}{n} \quad \text{кг} \times \text{м} \quad (23)$$

При пересчете обмотки электродвигателя на меньшую частоту вращения (большее число полюсов) пропорционально увеличивается эффективное число проводников и соответственно уменьшаются их сечение, магнитный поток, магнитная индукция в спинке статора и мощность электродвигателя, тогда как магнитная индукция в зубцах статора и, как видно из формулы 23, вращающий момент остаются неизменными. Учитывая такую зависимость, нет необходимости проверять достаточность вращающего момента при изменении на меньшие обороты. Иное положение при изменении электродвигателя на большие обороты.

В этом случае спинка не позволяет увеличить магнитный поток, поэтому уменьшить число проводников в пазе невозможно, а значит, и увеличить мощность электродвигателя. В связи с этим нарушается пропорциональная зависимость, указанная выше.

Допустим, требуется произвести замену обмотки электродвигателя с 1500 на 3000 об. мин., при этом для увеличения мощности и получения хороших характеристик необходимо число эффективных проводников уменьшить, а сечение их увеличить порядка в 2 раза, но из–за недостаточной высоты спинки статора они остаются числом, какое их было при 1500 *об. мин.* Казалось бы, раз остается неизменным сечение провода, то и мощность электродвигателя должна остаться такой, какой она была при 1500 *об. мин.* За счет увеличения числа оборотов хотя и снизится в два раза вращающий момент, все же электродвигатель должен бы работать нормально.

Но только по сечению провода нельзя судить о сохранении мощности двигателя, необходимо еще сохранить магнитную индукцию в зубцах в пределах 1,2 – 1,3 *Тл*.
Как указывалось раньше, с увеличением оборотов (уменьшением полюсов) увеличивается полюсное деление (в данном случае в 2 раза), поэтому если при неизменном потоке магнитная индукция в спинке остается прежней, то в зубцах она уменьшится в два раза.
При таком снижении индукции насыщение зубцов будет слабое, и это приведет к уменьшению тока намагничивания (холостого хода) не в $2^2 = 4$ раза, а в значительно большей степени, как минимум, в $2^3 = 8$ раз. Такой ток будет недостаточным даже для электродвигателя со старой мощностью, что в свою очередь ослабит вращающий момент, и электродвигатель будет непригоден для повышенных оборотов. Это еще раз подтверждает, что на 3000 *об. мин.* электродвигатель изменить нельзя даже с 1500 *об. мин.* из–за слабого момента вращения.
При увеличении оборотов электродвигателя возникает необходимость проверки достаточности вращающего момента. Сначала определяются моменты вращения старого ($M_С$) и нового ($M_Н$), а потом они сравниваются между собой. Отношение старого к новому моменту вращения должно быть равно или близко к единице: $M_С/M_Н$ = 1–1,25. Большая разница между старым и новым вращающими моментами указывает на завышенное число проводников в пазе статора, а значит – низкую магнитную индукцию в зубцах, малый ток холостого хода и слабый вращающий момент на увеличенных оборотах электродвигателя.

V. Замена обмотки электродвигателей другими проводами.

При замене в электродвигателе обмотки, вышедшей из строя, важно сохранить не только эффективное число проводников в пазе статора, но и их сечение. При этом общее сечение фаз должно быть равно сечению заводского исполнения. До 1980 года обмотки выполнялись проводом старых стандартов, поэтому сегодня мы не всегда можем добиться равенства сечения по новому стандарту диаметров, не исключено отклонение общего сечения фаз, которое не должно превышать 3 процентов. Если разница старых и новых стандартов диаметров или отсутствие ассортимента проводов не позволяют приблизить сечение фаз к заводскому, то этого можно добиться изменением числа параллельных ветвей.
Заменяя провода одних размеров другими, более мелкими, необходимо учитывать их изоляцию и не допускать ухудшения заполнения пазов, иначе уменьшится чистое сечение меди. При занижении сечения провода повышается плотность тока, значит, работая с номинальной нагрузкой, нагрев изоляции проводов и корпусной в электродвигателе будет выше допустимого.
Завышая при укладке обмотки сечение провода или применяя провод с утолщенной изоляцией, происходит чрезмерное уплотнение в пазах, в результате чего возможно повреждение изоляции. Указанные отклонения при замене обмотки могут привести к сокращению срока службы электродвигателей, а иногда к преждевременному выходу их из строя.

20. Замена обмотки электродвигателей с проводами прямоугольного сечения круглыми проводами.

Большинство наших заводов в электродвигателях старых серий большой мощности напряжением до 500 *в* обмотку выполняют жесткими секциями с прямоугольными проводами и волокнистой изоляцией марки ППБД, ППЛБО, ППСД и т. п. В условиях ремонтных предприятий восстановление такой обмотки представляет значительные трудности из–за невозможности приобретения провода соответствующего профиля. Указанную обмотку можно заменить обмоткой из круглого провода с эмалевой изоляцией без уменьшения мощности электродвигателей.

При этом пазовая изоляция и марка провода подбирается не ниже класса изоляции, установленной заводом–изготовителем. Современные изоляции тонкого размера позволяют сохранить заполнение паза всыпной обмоткой. Такие электродвигатели работают надежно, но при этом необходимо дополнительно изолировать секции лобовых частей и производить более усиленную их увязку и применять пропиточные лаки, хорошо склеивающие витки круглого провода.

Быстроходные электродвигатели имеют тяжелый запуск и повышенные динамические усилия в обмотке, поэтому следует стремиться к уменьшению числа параллельных ветвей, вплоть до последовательной обмотки, как более надежной и позволяющей улучшить крепление секций в лобовой части.
Измененное число параллельных ветвей может привести к тому, что получится дробное расчетное число проводников в пазе при существующем шаге обмотки.
Для того чтобы получить целое число проводников в пазе, необходимо шаг обмотки изменить по отношению к шагу, который был до ремонта обмотки электродвигателя. Некоторая сложность изготовления последовательной обмотки может быть при намотке катушечных групп, так как при этом необходимо применять большое количество параллельных проводов. Следует помнить: у электродвигателей на 3000 *об. мин.* мощностью более 150 *кВт*, имеющих очень большие пусковые токи, а, следовательно, и повышенные динамические усилия проводов, замены жестких секций на всыпную обмотку лучше избегать.

Замену жестких секций на всыпную обмотку таких электродвигателей можно производить тогда, когда обмотка выполняется на повышенное напряжение. При этом электродвигатель будет работать при нормальном напряжении соединением выводов обмотки треугольником, а запуск производится на звезду через специальный пускатель при незначительной нагрузке. При замене обмотки с проводом прямоугольной формы (с жесткими секциями) на круглый провод (всыпной обмоткой) производится расчет сечений обеих обмоток. Сечения их должны быть равными или новое можно уменьшить на 10–15 процентов, если корпусная изоляция и марка провода будут приняты на один класс выше.
Например, обмотка электродвигателя имеет класс изоляции "Е" с числом проводников в пазе $N = (5 + 5) \times 2$, размером провода $3{,}05 \times 3{,}28$ *мм.*, $a = 4$, соединение фаз Y. По специальной таблице находим сечение $S = 9{,}51$ *мм*^{2}. (При отсутствии таблицы надо произведение размеров уменьшить приблизительно на 5 процентов за счет закругления острых углов при изготовлении провода, что учтено в таблице). Так как обмотка выполнена в два провода, то при четырех параллельных ветвях сечение эффективного проводника составит $S = 9{,}51 \times 2 = 19{,}02$ *мм*^{2}. Для замены принимаем (из наличия) провод диаметром $d_э = 1{,}6$ *мм.*, которому соответствует сечение $S_э = 2{,}02$ *мм*^{2}.
Определим количество элементарных проводников:
$N_э = S/S_э = 19{,}02/2{,}02 = 9{,}5$, принимаем 9 проводников, общее сечение которых составит $2{,}02 \times 9 = 18{,}18$ *мм*^{2}. На недостающее сечение необходим дополнительно провод $d_э = 1{,}06$, который имеет сечение $S_э = 0{,}883$ *мм*^{2}, тогда сечение будет $S = 18{,}18 + 0{,}883 = 19{,}06$ *мм*^{2}. Если класс изоляции принять "В", то можно сечение уменьшить до 17 *мм*^{2}, тогда диаметр проводов будет: $d_э = 1{,}4 \times 11$. Число эффективных проводников $N = 5 + 5$ и параллельных ветвей $a = 4$, а также сопряжение фаз Y сохраняется, иначе необходимо изменить все параметры.

21. Замена всыпных обмоток проводом нового стандарта.

Если имеются обмоточные данные в каталоге или они сняты при удалении старой обмотки электродвигателей, у которых диаметры проводов не совпадают с новым стандартом, необходимо производить их пересчет, сохранив сечение эффективного проводника.

Для электродвигателей малой мощности с последовательной обмоткой и эффективными проводниками, имеющими не более трех элементарных проводников, вместо диаметра провода старого стандарта можно принять ближний диаметр провода нового стандарта, при этом отклонение в сечении эффективного проводника не превысит ±2 процентов. Для электродвигателей большой мощности, у которых в обмотке эффективный проводник имеет более трех элементарных (параллельных) проводов или образованы параллельные ветви (a), необходимо вначале со старым, а потом с принятым новым стандартом провода определить сечение фазы ($S_Ф$) по соотношению:

$$S_Ф = a \times S_Э \times N_Э \quad (24)$$

где произведение сечения элементарного проводника ($S_Э$), на количество элементарных проводов ($N_Э$) определяет сечение эффективного проводника:

$$S = S_Э \times N_Э$$

При большом отклонении сечения фазы с проводом нового стандарта можно изменить число параллельных ветвей, а значит, количество элементарных проводов по сравнению с заводскими. Если заводское расчетное число эффективных проводников при последовательной обмотке было дробным, а для получения целого числа приняты параллельные ветви, то при замене проводов с диаметром нового стандарта надо оставить такое же число параллельных ветвей или только увеличить их возможное число, соответственно увеличив число эффективных проводников в пазе статора. Выбирая провод, необходимо учитывать, что быстроходные электродвигатели имеют шаг обмотки больший, чем тихоходные, поэтому при укладке обмотки во избежание надрыва корпусной изоляции (пазовых коробов или гильз) на выходе из паза для первых применяются меньшие диаметры проводов.
При пересчете обмотки вместо одного провода принимают несколько проводов одинакового диаметра или вместо положенных по каталогу нескольких проводов одинакового диаметра берут лишь один, при этом с помощью существующих таблиц по сечению определяется диаметр провода и наоборот. Для сокращения времени предлагается формулу, по которой можно сразу определить необходимые диаметры проводов без перевода в сечение:

$$dn = \frac{d}{\sqrt{n_d}} \quad (25)$$

где d – диаметр большого провода в *мм.*; dn – диаметр нескольких меньших проводов в *мм.*; n_d – число проводов меньших диаметров. Из формулы видно, что при замене одного провода большего диаметра несколькими проводами с меньшим одинаковым диаметром (не переводя в сечение), диаметр меньшего провода равен диаметру одного провода большего диаметра, поделенному на корень квадратный из числа проводов с меньшим диаметром, или:

$$d = dn \times \sqrt{n_d} \quad (25а)$$

При замене нескольких проводов одинакового диаметра одним проводом большего диаметра без перевода в сечение, диаметр большего провод равен диаметру меньших проводов, умноженному на корень квадратный из числа проводов меньшего диаметра.
Пример: обмотка электродвигателя выполнена одним проводом диаметром 1,8 *мм*. Необходимо заменить его четырьмя проводами:

$$dn = \frac{d}{\sqrt{n_d}} = \frac{1{,}8}{\sqrt{4}} = \frac{1{,}8}{2} = 0{,}9 \quad \text{мм.}$$

Проверим, соответствует ли общее сечение четырех меньших проводов сечению одного провода большего диаметра. Диаметр одного провода 1,8 *мм.* соответствует сечению 2,54 $мм^2$. Диаметр 0,9 *мм.* × 4 соответствует 0,636 × 4 = 2,544 $мм^2$ (см. табл. 5).

22. Замена медного провода алюминиевым.

В электродвигателях старых типов, в том числе и серии А, АО, обмотки, выполненные медным проводом на заводах, но вышедшие в процессе эксплуатации из строя, при ремонте можно заменить более экономичным алюминиевым проводом марки ПЭВА и ПЭТВА соответствующего класса изоляции. При этом необходимо учитывать, что проводимость меди в 1,63 раза выше алюминия, значит, для сохранения мощности электродвигателя сечение алюминиевого провода должно быть в 1,63 раза больше медного.
Но обычно обмоточные провода выбираются по диаметру, поэтому для удобства расчетов выведены соотношения замены проводов не по сечениям, а по диаметрам. При замене медного провода алюминиевым в соответствии с проводимостью, без перевода в сечение, диаметр алюминиевого провода (dа) равен диаметру медного провода (dм), умноженному на 1,28 или поделенному на 0,78.

$$d\text{а} = d\text{м} \times 1{,}28 = \frac{d\text{м}}{0{,}78}$$

Например, необходимо заменить медный провод диаметром 1,5 *мм.* алюминиевым проводом, диаметр которого равновелик по проводимости:

$$d\text{а} = d\text{м} \times 1{,}28 = 1{,}5 \times 1{,}28 = 1{,}92\ \text{мм.}$$

Ближайший стандартный диаметр по табл. 5 будет 1,9 *мм*. Как видно, диаметр алюминиевого провода значительно больше медного, следовательно, замена может быть произведена в том случае, если ранее в электродвигателе обмотка была выполнена проводом с утолщенной изоляцией марки ПБД, ПЭЛБО, ПСД и т. п.

Возможна замена медного провода алюминиевым и в том случае, если корпусная изоляция ранее была выполнена низшим классом изоляции и, следовательно, большей толщины. В этом случае больший диаметр алюминиевого провода можно вместить в пазы за счет замены корпусной изоляции более тонкой и высокопрочной (как в механическом, так и в электрическом отношении). Такая замена возможна в некоторых электродвигателях серий А2, АО2, у которых обмотка заводами выполнена медным проводом с эмалевой изоляцией.

23. Замена провода при перемотке обмотки электродвигателей напряжения 220/380 *в* на 380/660 *в* и 500 *в*.

При перемотке обмотки электродвигателей на другое напряжение изменяется число проводников в пазе и сечение провода. Более распространенным напряжением сети считается 380 *в*, поэтому в практике чаще всего приходится обмотку электродвигателей, рассчитанных на 220/380 *в* менять на 380/660 *в* при соединении в обоих случаях обмоток треугольник – звезда (△/Y).
Это необходимо для того, чтобы для некоторых быстроходных электродвигателей большой мощности облегчить запуск путем переключения со звезды на треугольник или необходимость заставляет в связи с ограниченным ассортиментом размеров проводов. Кроме того, принятие решения изменения существующей обмотки связано с расчетным числом проводников в пазе статора.

Так, например, если при напряжении 220/380 *в* расчетное число проводников получается дробным и равно 11,6, то при напряжении 380/660 *в* это число будет уже целым, равным 20 и наоборот, если при напряжении 380/660 *в* число проводников получается 17,3, то при напряжении 220/380 *в* оно будет равно 10.

При замене обмотки электродвигателя с изменением или сохранением его параметров можно принимать любое возможное число параллельных ветвей и любой размер провода, при этом соответственно делается пересчет числа эффективных проводников и их сечения. При выборе параллельных ветвей необходимо стремиться к меньшему их числу, а диаметр элементарных проводников должен свободно проходить в шлиц паза и легко изгибаться в лобовой части.

С изменением обмотки электродвигателя с 220/380 *в* на 380/660 *в* или наоборот соответственно изменяется число эффективных проводников в пазе и их сечение в $\sqrt{3}$ = 1,73 раза, а с пересчетом обмотки с 380 *в* на 500 *в* или наоборот – в 1,32 раза, сохраняя такое же сопряжение фаз, при этом все остальные параметры остаются неизменными. При подборке провода для обмотки обычно пользуются диаметрами. Заменяя обмотку с напряжения 220/380 *в* на 380/660 *в* или наоборот, диаметры проводов изменяются в 1,315 раза, а с 380 *в* на 500 *в* и наоборот – в 1,15 раза при одинаковом сопряжении фаз. Но для подсчета этих величин даже по упрощенным уравнениям также затрачивается время, поэтому для ускорения выдачи работы обмотчикам приведены готовые данные: замена проводов по диаметрам определяется по табл. 8, а замена числа проводников – по табл. 9. Так как напряжение 127/220 *в* и 290/500 *в* встречается очень редко, для них таблицы не предусмотрены. С заменой обмотки с одного на другое напряжение, несмотря на то, что получается новое число проводников в пазе и сечение провода, мощность электродвигателя не изменяется, так как при этом ампервитки (МДС), а значит, и магнитный поток остаются прежними.

При изменении электродвигателя на другое напряжение обмотку статора необходимо выполнять по новым данным.

Если электродвигатель имеет фазный ротор, то его обмотку можно сохранить, при этом с уменьшением напряжения она переключается со звезды на треугольник или в две параллельные ветви, а с увеличением напряжения переключается с треугольника на звезду или последовательно, но если этого сделать нельзя, то можно оставить без изменения и проверить, чтобы на кольцах напряжение не слишком превышало допустимые нормы. В противном случае обмотка ротора полностью заменяется по новым данным.

Таблица 8. Замена диаметров проводов в зависимости от выполнения обмотки электродвигателей для включения в сеть напряжением 380 *в.*

220/380 *в* Y	380/660 *в* △	220/380 *в* Y	380/660 *в* △
0,25	0,18	0,85	0,63
0,265	0,2	0,9	0,67
0,28	0,212	0,95	0,71
0,3	0,224	1	0,75
0,315	0,236	1,06	0,8
0,335	0,25	1,12	0,85
0,355	0,265	1,18	0,9
0,375	0,28	1,25	0,95
0,4	0,3	1,32	1
0,425	0,315	1,4	1,06
0,45	0,335	13	1,12
0,475	0,355	1,6	1,18
0,5	0,375	1,7	1,25
0,53	0,4	1,8	1,32
0,56	0,425	1,9	1,4
0,6	0,45	2	1,5
0,63	0,475	2,12	1,6
0,67	0,5	2,24	1,7
0,71	0,53	2.36	1,8
0,75	0,56	2,5	1,9
0.8	0,6	2,65	2

Таблица 9. Число проводников в пазе в зависимости от напряжения при соединении обмоток – △ / Y

220/380 *в*	380/660 *в*	220/380 *в*	380/660 *в*	220/380 *в*	380/660 *в*
2	3,46	42	72	82	142
3	5,19	43	74	83	144
4	7	44	76	84	146
5	8,65	45	78	85	148
6	10,38	46	79	86	150
7	12,11	47	80	87	152
8	13,84	48	82	88	154
9	15,57	49	84	89	155
10	17,3	50	86	90	156
11	19	51	88	91	158
12	21	52	90	92	160
13	23	53	92	93	161
14	24	54	94	94	163
15	26	55	96	95	165
16	28	56	98	96	166
17	30	57	99	97	168
18	31	58	101	98	169

24. Замена различных обмоток $2p = 2$ на цепную обмотку.

Двухполюсные электродвигатели малой мощности порядка до 20 *кВт* изготовлены с малой расточкой активной стали статора и обычно выполняются однослойной обмоткой "в развалку", которая трудно укладывается из–за большого шага, или двухслойной обмоткой, требующей уплотнения в пазах провода из–за изоляционных прокладок в пазах между секциями.

Наличие большего числа секций увеличивает трудоемкость, кроме того, при выполнении обеих обмоток безсхемными (без паек) вторые катушечные группы должны переворачиваться на 180 градусов для получения соединения концов с концами (в каждой фазе), что также создает неудобство.
Чтобы избавиться от большого шага при "развалке" в однослойной обмотке и неудобств в обоих обмотках, указанных выше, необходимо переходить на цепную обмотку с укороченным шагом, к тому же лучше выполнять ее параллельно. Если однослойная обмотка "в развалку" или двухслойная обмотка выполнена последовательно, то число проводников в пазе необходимо увеличить, а сечение провода – уменьшить в 2 раза. Кроме того, заменяя однослойную обмотку "в развалку" цепной, число проводников в пазе надо дополнительно увеличить в обмоточный коэффициент, по расчету это будет на 5%, если при Z = 24 принят шаг 9, а при Z = 36 принят шаг 13, и на 10%, если шаги приняты соответственно 7 и 11 (ниже приводятся примеры пересчета на цепную обмотку).
При переходе с двухслойной обмотки на цепную число проводников дополнительно не увеличивается, если их шаги одинаковы. Если же в двухслойной обмотке шаг четный, то для цепной обмотки принимается нечетный шаг и делается пересчет числа проводников в пазе статора (см. раздел "Разновитковые двухслойные обмотки").

Пример 1. Электродвигатель 4А132М2, P = 11 *кВт*, Z = 24, обмотка последовательная "развалка" – q = 4 = 2 + 2, N = 21, a = 1, d = 1,18 × 3 = 1,4 × 2, y = 10 (1–11) – равносекционная обмотка или y_1 = 11 (1–12) и y_2 = 9 (2–11) – концентрическая обмотка, откуда y_{CP} =
= (11+9) / 2 = 10 (1–11). Такая однослойная обмотка "в развалку" считается укороченной от диаметральной на 2 паза, от него и подсчитывается увеличение проводников в пазе при переходе на цепную обмотку, допустим, шаг – yу = 7 (1 – 8), что составляет 10%.
1. 1. При a = 2 увеличиваем число проводников в 2 раза N = 21 × 2 = 42.
1. 2. Дополнительно увеличиваем число проводников на обмоточный коэффициент или на 10%, тогда N = 42 × 1,1 = 47.
1. 3. Уменьшим сечение в 2 раза, d = 1,4, можно принять d = 1,32 *мм*.

Пример 2. Электродвигатель 4А112М2, P = 7,5 кВт, Z = 24, a = 2, N = 52, d = 1,25, y = 10 (1 – 11), "в развалку":
2. 1. Увеличим число проводников в пазе только на обмоточный коэффициент (на 5%) при yу = 9 (1–10), N = 52 × 1,05 = 55.
2. 2. Диаметр провода остается неизменным, так как для мелких электродвигателей заполнение паза не изменится.

Пример 3. Электродвигатель АО2 – 51 – 2, P = 10 *кВт*, Z = 24, q = 4, a = 2, обмотка двухслойная y = 9 (1–10), N = 25 + 25. В цепной обмотке шаг должен быть нечетным, поэтому остается тот же. Следовательно, число параллельных ветвей a = 2 и количество проводников N = 50 остаются прежними и с тем же сечением.
Так как при переходе с однослойной обмотки "в развалку" на цепную уменьшается реактивный ток, а значит улучшается коэффициент мощности (cosφ), кроме того замена производится для малой мощности, то можно уменьшить диаметр провода на одну ступень, что позволит вместить в паз увеличенное число проводников.

25. Испытание обмотки и проверка электродвигателей до 500 *в*.

Измерение сопротивления изоляции обмотки между фаз и на корпус. После пропитки и сушки обмоток испытание сопротивления изоляции производится мегомметром 500 или 1000 *в*. Норма сопротивления изоляции не предусмотрена, но, исходя из практики, она должна быть: после частичного ремонта обмотки у статора – 1 *Мом* и у ротора – 0,5 *Мом*, а после полной замены обмотки у статора – 3 *Мом* и у ротора – 2 *Мом*.

Испытания электрической прочности изоляции обмотки. Электрическая прочность изоляции обмотки испытывается высоковольтным трансформатором напряжения (НОМ). Норма испытания предусмотрена: для статоров мощностью до 3 *кВт* – 1,3 *кВ* и для статоров мощностью свыше 3 *кВт* и роторов – 1,8 *кВ*.
Проверка обмотки на витковое замыкание. Наличие или отсутствие виткового замыкания, обрыв в фазах и правильное соединение схемы производятся аппаратом СМ – 1, СМ – 2 и более совершенным ЕЛ – 1.
Испытание электродвигателя на холостом ходу. После сборки электродвигатель прокручивается: на номинальном напряжении в течение 30 *мин*. (проверяется нагрев частей) и с повышенным напряжением на 30 процентов в течение 1 *мин*. (проверяется межвитковая прочность). Надежность работы электродвигателя обеспечивается, когда лобовые части обмотки отстоят от металлических частей корпуса на 10 – 15 *мм*., а подшипники качения в подшипниковых щитах имеют осевое перемещение 0,5 – 1,5 *мм*. и заполняются смазкой на ⅔ объема.

VI. Примеры расчета обмоточных данных.

Приступая к расчету, необходимо убедиться, к какой серии относится электродвигатель, какое его исполнение заводом – изготовителем и, если это возможно, выяснить класс корпусной изоляции и марку обмоточного провода. Точность расчета зависит от правильного замера частей активной стали (сердечника) статора, выбора величин магнитных индукций по табл. 2 и обмоточного коэффициента укорочения шага обмотки по табл. 3. Для доказательства правильности выведенных формул берем серийные электродвигатели с наличием паспортных и каталожных данных.

Пример 1. Электродвигатель А – 42/4, мощностью P = 2,8 *кВт*, обмотка однослойная, напряжение 220/380 *в*, исполнение защищенное, сердечник статора имеет размеры D = 11,2 *см*., L = 11,5 *см*., b = 0,47 *см*., h = 1,55 *см*., Z = 36, Z_2 = 26, необходимо определить:
1. 1. Число полюсов в заводском изготовлении;
1. 2. Число эффективных проводников с диаметральным шагом на 220/380 *в*;
1. 3. Число эффективных проводников в пазе с диаметральным шагом при напряжении 500 *в*, соединение фаз в звезду (Y);
1. 4. Число эффективных проводников в пазе при частоте 100 *гц*;
1. 5. Число эффективных проводников при пересчете на 1000 *об. мин.*;
1. 6. Число эффективных проводников при пересчете на 3000 *об. мин.*;
1. 7. Сечение эффективного проводника;
1. 8. Фазную и номинальную силу тока, мощность и момент вращения;
1. 9. Проверить соотношение пазов статора и ротора.
1. 1. Определяем число полюсов в заводском исполнении по формуле 1:

$$2p = \frac{0{,}35 \times Z \times b}{h} = \frac{0{,}35 \times 36 \times 0{,}47}{1{,}55} = 3{,}8 = 4$$

1.2. Определим число эффективных проводников в пазе статора для обмотки с диаметральным шагом по формуле 2. По табл. 2 магнитная индукция в зубцах $B_З$ = 1,6 *Тл*:

$$N = \frac{2p \times 10^5}{Z^2 \times L \times b \times B_З \times K_У} = \frac{4 \times 10^5}{36^2 \times 11{,}5 \times 0{,}47 \times 1{,}6 \times 1} = 35{,}6 = 36.$$

Проверяем магнитную индукцию в спинке сердечника статора:

$$B_С = \frac{\pi \times 10^4}{Z \times L \times h \times N \times K_У} = \frac{3{,}14 \times 10^4}{36 \times 11{,}5 \times 1{,}55 \times 36 \times 1} = 1{,}36 \text{ Тл}.$$

Магнитная индукция в спинке не превышает данных в табл. 2.

Диаметральный шаг обмотки определяется по формуле 5:

$$y = \frac{Z}{2p} = \frac{36}{4} = 9 \ \text{ или } (1 - 10)$$

Число пазов на полюс и фазу определим по формуле 6:

$$q = \frac{Z}{p \times 6} = \frac{36}{2 \times 6} = 3$$

1. 3. Определяем число эффективных проводников в пазе при напряжении 500 *в*, соединением выводов обмотки в звезду по формуле 7. При этом фазное напряжение будет:

$$U_{\text{Ф}} = \frac{U_{\text{Л}}}{1{,}73} = \frac{500}{1{,}73} = 290 \ \text{ в}$$

$$N_{\text{Н}} = \frac{N_C \times U_{\text{Н}}}{U_C} = \frac{36 \times 290}{220} = 47$$

1. 4. Определим число эффективных проводников в пазе при частоте 100 *гц*.
При частоте тока f = 50 *гц* число эффективных проводников $N_{\text{С}}$ = 36, новое число проводников определим по формуле 11:

$$N_{\text{Н}} = \frac{N_C \times f_C}{f_{\text{Н}}} = \frac{36 \times 50}{100} = 18 \ \text{ проводников}$$

1.5. Определим число эффективных проводников в пазе статора при изменении вращения на 1000 *об. мин.* Магнитную индукцию в зубцах принимаем из табл. 2: B_3 = 1,65 *Тл*; по формуле 2:

$$N = \frac{2p \times 10^5}{Z^2 \times L \times b \times B_3 \times K_{\text{у}}} = \frac{6 \times 10^5}{36^2 \times 11{,}5 \times 0{,}47 \times 1{,}6 \times 1} = 50{,}6$$

по формуле 14:

$$N_{\text{Н}} = \frac{N_C \times p_{\text{Н}}}{p_C \times 1{,}1} = \frac{36 \times 3}{2 \times 1{,}1} = \frac{108}{2{,}2} = 50 \ \text{ проводников}$$

Как видно, по обеим формулам получается результат, близкий друг к другу (отклонение составляет 2%), а это подтверждает, что при замене обмотки электродвигателя на меньшую частоту вращения можно пользоваться и формулой пропорциональной зависимости между числом проводников в пазе статора и числом пар полюсов.
1.6. Определим число проводников в пазе на 3000 *об. мин.* (p = 1), ($2p$ = 2) по формуле (3а) с размером спинки. Принимаем максимальную магнитную индукцию в спинке Bс = 1,65 *Тл* (из табл. 2):

$$N = \frac{\pi \times 10^4}{Z \times L \times h \times B_C \times K_{\text{у}}} = \frac{3{,}14 \times 10^4}{36 \times 11{,}5 \times 1{,}55 \times 1{,}65 \times 1} = 30 \text{ проводников}$$

По формуле 2 с размером зубца и числом полюсов:

$$N = \frac{2p \times 10^5}{Z^2 \times L \times b \times B_3 \times K_{\text{у}}} = \frac{2 \times 10^5}{36^2 \times 11{,}5 \times 0{,}47 \times 1{,}55 \times 1} = 18 \text{ проводников}$$

Магнитная индукция в зубцах по табл. 2 принята 1,55 *Тл*.

Для большей наглядности произведем пересчет обмотки электродвигателя А – 42/4 на различное число полюсов по формуле с размером зубца и с размером спинки на несколько ступеней оборотов.
При пересчете на разную частоту вращения электродвигателя по формуле с размером зубца в зависимости от числа полюсов получилось: на 2 полюса – 18, на 4 полюса – 36, на 6 полюсов – 50 и на 8 полюсов – 66 проводников, а при пересчете по формуле с размером спинки получилось соответственно 30, 31, 32, 33 проводников. Спинка является постоянной величиной, и должен бы быть один результат, но разница в числе проводников на единицу получилась за счет различной допустимой магнитной индукции по ступеням в зависимости от числа полюсов. Отсюда можно судить, что электродвигатель изготовлен на одну ступень четырехполюсным, так как по зубцам получилось 36, а по спинке 31 проводник.
Несмотря на то, что спинка имеет некоторый запас, при 4 полюсах все же электродвигатель непригоден как двухполюсный, так как нормальная работа двухполюсного электродвигателя должна быть при 18 проводниках, при которых сохранится величина магнитной индукции в зубцах, какая была при 4 полюсном электродвигателе, то есть 1,55 *Тл* (см. расчет выше). Но если оставить в пазе 18 проводников, то магнитная индукция в спинке будет:

$$B_{\text{С}} = \frac{\pi \times 10^4}{Z \times L \times h \times N \times \text{К}_{\text{у}}} = \frac{3{,}14 \times 10^4}{36 \times 11{,}5 \times 1{,}55 \times 18 \times 1} = 2{,}72 \text{ Тл.}$$

Такая магнитная индукция в спинке недопустима, значит, чтобы она была в пределах норм, необходимо оставить в пазе 30 проводников (см. расчет выше).
При этом, казалось бы, должна повыситься мощность электродвигателя порядка до 3 *кВт* за счет увеличения сечения провода, так как при четырехполюсном электродвигателе в пазе было 36 проводников, а при двухполюсном – на 6 проводников меньше.
Но мощность электродвигателя зависит не только от достаточного сеченния провода, а также и от нормального магнитного насыщения стали зубцов (но не стали спинки), а значит и достаточного момента вращения.
С 30 проводниками в пазе статора при двухполюсном электродвигателе число проводников будет увеличено по сражению с расчетным 30/18 = в 1,66 раза; поэтому магнитная индукция в зубцах статора будет очень низкая. Если при четырехполюсном электродвигателе магнитная индукция в зубцах была 1,6 *Тл* то при увеличении числа проводников в 1,66 раза при двухполюсном электродвигателе, магнитная индукция в зубцах уменьшится в $1{,}66^1$ раза (в первой степени) и будет иметь величину 1,6/1,66 = 0,96 *Тл*. Можно проверить индукцию по формуле 2, преобразованной с размером зубца, и получим тот же результат:

$$B_C = \frac{2p \times 10^5}{Z^2 \times L \times b \times N \times \text{К}_{\text{у}}} = \frac{2 \times 10^5}{36^2 \times 11{,}5 \times 0{,}47 \times 30 \times 1} = 0{,}95 \text{ Тл}$$

Если магнитная индукция уменьшилась в 1,66 раза (в первой степени), то ток намагничивания (холостого хода) уменьшится даже не в $1{,}66^2$, а в значительно большей степени. В результате этого вращающий момент, если при четырех полюсах был достаточен:

$$M_{\text{С}} = \frac{975 \times P_C}{n} = \frac{975 \times 2{,}8}{1500} = 1{,}82 \quad \text{кг} \times \text{м}$$

то при двух полюсах значительно уменьшится и станет:

$$M_{\text{С}} = \frac{975 \times P_C}{n} = \frac{975 \times 3}{3000} = 0{,}97 \quad \text{кг} \times \text{м}$$

Тогда как при нормальных условиях работы новый вращающий момент электродвигателя с увеличением частоты вращения должен быть близким к старому. При нагрузке электродвигатель затормозится и выйдет из строя. Это подтверждает, что заменять обмотку электродвигателя на частоту вращения 3000 *об. мин.*, даже с 1500 *об. мин.* не рекомендуется.

1. 7. Определяем сечение провода по фазной силе тока для электродвигателя А – 42/4, P = 2,8 *кВт*, $I_Ф$ = 6,1 A – указано на паспортной табличке. По табл. 4 плотность тока принимается: j = 5,8 А/$мм^2$. $S = I_Ф/j$ = 6,1/5,8 = 1,05 $мм^2$, d = 1,18 *мм*.

При пересчете этого электродвигателя на 1000 оборотов было получено 50 проводников. Сечение провода изменится соответственно изменению числа проводников, по формуле 21:

$$S_{\text{Н}} = \frac{N_C \times S_C}{N_{\text{Н}}} = \frac{36 \times 1{,}05}{50} = 0{,}76\ \text{мм}^2,\ \ d = 1\ \text{мм}.$$

1. 8. Определяем фазную силу тока, мощность и момент вращения электродвигателя при 1000 *об. мин.* По табл. 4 принимаем плотность тока j = 5,7 $A/мм^2$, КПД и cosφ в произведении – 0,65. Фазная сила тока будет:

$$I_{\Phi} = S \times j = 0{,}76 \times 5{,}7 = 4{,}3\ a$$

При соединении выводов обмотки в звезду (Y) фазный и номинальный ток равны – Iф = Iн. Номинальная мощность с ухудшением охлаждения на 10% определяем по формуле 19:

$$P_{\text{Н}} = \frac{3 \times I_{\Phi} \times U_{\Phi} \times \eta \times \cos\varphi}{1000 \times 1{,}1} = \frac{3 \times 4{,}3 \times 220 \times 0{,}65}{1000 \times 1{,}1} = 1{,}86\ \text{кВт}$$

Проверим, какая будет мощность по формуле пропорциональной зависимости – 22:

$$P_{\text{Н}} = \frac{P_C \times S_{\text{Н}}}{S_{\text{С}} \times 1{,}1} = \frac{2{,}8 \times 0{,}76}{1{,}05 \times 1{,}1} = 1{,}84\ \text{кВт}$$

По обеим формулам мощность близка, можно принять 1,85 *кВт*.

Определим вращающие моменты для обоих электродвигателей и сравним их:

$$M_{\text{С}} = \frac{975 \times P_C}{n} = \frac{975 \times 2{,}8}{1500} = 1{,}82\ \ \text{кг} \times \text{м}$$

$$M_{\text{Н}} = \frac{975 \times P_{\text{Н}}}{n} = \frac{975 \times 1{,}8}{1000} = 1{,}8\ \ \text{кг} \times \text{м}$$

$$\frac{M_{\text{С}}}{M_{\text{Н}}} = \frac{1{,}82}{1{,}8} = 1{,}01$$

отношение моментов близко к единице, значит, вращающий момент при $2p$ = 6 – достаточен.

1. 9. Проверим, не нарушается ли магнитная взаимосвязь между статором и ротором электродвигателя А – 42/4 при Z = 36, Z_2 = 26, в случае его изменения частоты вращения на 1000 и 3000 *об. мин.* Так как числа пазов ротора и статора являются постоянными величинами, то по одним и тем же результатам первого условия можно судить о возможности переделки электродвигателя на любое число полюсов.

25/36 = 0,72; 26 – 36 = – 10; 26 – 18 = + 8; 26 – 72 = – 46.

Учитывая, что число пар и число полюсов величины изменяющиеся, по второму условию необходимо производить проверку для каждого числа оборотов. Проверим электродвигатель в заводском изготовлении на 1500 *об. мин.*, $2p = 4$, ($p = 2$)

$$26 - (4 \times 6) = 26 - 24 = 2$$

Проверим электродвигатель на 1000 *об. мин.*

$$26 - (6 \times 3) = 26 - 18 = 8$$

Проверим электродвигатель на 3000 *об. мин.*

$$26 - (2 - 12) = 26 - 24 = 2$$

Из проверки видно, что в заводском исполнении электродвигатель на 1500 *об. мин.* и при переделке на 1000 *об. мин.* – по обоим условиям все неравенства соблюдены, а на 3000 *об. мин.* по второму условию получен результат – 2, равный числу полюсов – $2p$ и $p + 1$, что недопустимо. Изменять число оборотов электродвигателя А–42–4 на 3000 *об. мин.*, даже если бы это позволил размер спинки, не рекомендуется, так как возможны застревание ротора, шум и вибрация.

Пример 2. Электродвигатель 4АН225М4, P = 75 *кВт*, Z = 48, 220/380 *в*, с размерами сердечника D = 28,4 *см*., L = 20 *см*., h = 3,5 *см*., b = 0,786 *см*. Определить обмоточные данные в заводском изготовлении и при пересчете на 750 и 3000 *об. мин.*

2. 1. Определим число полюсов по формуле 1:

$$2p = \frac{0{,}35 \times Z \times b}{h} = \frac{0{,}35 \times 48 \times 0{,}786}{3{,}5} = 3{,}73 = 4$$

2.2. Диаметральный шаг обмотки и число пазов на полюс и фазу получим по формулам 5 и 6:

$$y_д = \frac{Z}{2p} = \frac{48}{4} = 12 \times (1 - 13), \quad q = \frac{Z}{p \times 6} = \frac{48}{6} \times 2 = 4$$

2. 3. По табл. 3 для двухслойной обмотки при $q = 4$ с наивыгоднейшим укорочением шага yу = 10 (1 – 11), обмоточный коэффициент Kу = 0,97.
2. 4. По табл. 2 магнитная индукция в зубцах при $2p = 4$ с диаметром расточки до 30 *см*. принимается максимальная и добавляется 15% для серии 4А.

$$B_з = 1{,}6 + 15\% = 1{,}6 + 0{,}24 = 1{,}84 \text{ Тл}$$

2. 5. Число эффективных проводников в пазе статора определяем по формуле 2:

$$N = \frac{2p \times 10^5}{Z^2 \times L \times b \times B_з \times K_у} = \frac{4 \times 10^5}{48^2 \times 20 \times 0{,}786 \times 1{,}84 \times 0{,}97} = 6{,}15 = 6 \text{ проводников}$$

Доля 0,15 составляет 2,5%, округляем до 6 проводников.
2. 6. Проверяем магнитную индукцию в спинке по формуле 3:

$$B_C = \frac{\pi \times 10^4}{Z \times L \times h \times N \times K_у} = \frac{31400}{48 \times 20 \times 3{,}5 \times 6 \times 0{,}97} = 1{,}6 \text{ Тл}$$

2. 7. Определим размер провода по методу заполнения паза.

Заполняя паз стальными спицами (шаблонами) $d_П$ = 1,80/2 *мм*. ($S_П$ = 2,54), вместилось $N_П$ = 46. Сечение эффективного проводника находим по формуле 15:

$$S = \frac{S_П \times N_П}{N} = \frac{2{,}54 \times 46}{6} = 19{,}71 \text{ мм}^2$$

Сечение эффективного проводника получилось по формуле 15 большое, необходимо принять элементарные проводники и параллельные ветви.
Для данного электродвигателя с двухслойной обмоткой по таблице 1 возможно 2 или 4 параллельные ветви, при этом можно принять 8, 12 или 16 элементарных проводников (кратные – a = 2, 4). При 16 проводниках сечение одного будет:

$$S_Э = \frac{S}{N_Э} = \frac{19{,}71}{16} = 1{,}23 \text{ мм}^2 \quad d_Э = 1{,}25 \text{ мм}$$

При 12 проводниках слишком большое отклонение в сечении от расчетного, а при 8 проводниках получается большой диаметр – (1,8 *мм*.), поэтому эти варианты неприемлемы. Принимаем a = 4 $N_Э$ = 16.
Обмоточные данные будут:

$$N_Э/a = 16/4 = 4,\ N_{а4} = 6 \times 4 = 24 = (12 + 12) \times 4;\ d = 1{,}25 \text{ мм}.$$

Общее число проводников в пазе будет:

$$N_0 = N_4 \times N_Э = 24 \times 4 = 96$$

Фактическое сечение по сравнению с расчетным составит:

$$S = a \times N_Э \times S_Э = 4 \times 4 \times 1{,}23 = 19{,}7 \text{ мм}^2$$

2. 8. Сделаем пересчет обмотки на 750 *об. мин.* (2p = 8).
Диаметральный шаг и число пазов на полюс и фазу будет: $у_Д$ = 6 (1 – 7), q = 2.
Укороченный шаг и обмоточный коэффициент берем из табл. 3.

$$\text{При } q = 2,\ У_у = 5\ (1 - 6);\ К_у = 0{,}97,\ \beta = 5/6 = 0{,}83.$$

По табл. 2 магнитную индукцию в зубцах при 2p = 8 и диаметре расточки статора до 30 *см*. принимаем максимальную и добавляем 15%.

$$B_З = 1{,}75 + 15\% = 1{,}75 + 0{,}25 = 2 \text{ Тл}$$

Число эффективных проводников в пазе определим по формуле 2:

$$N = \frac{2p \times 10^5}{Z^2 \times L \times b \times B_З \times К_у} = \frac{8 \times 10^5}{48^2 \times 20 \times 0{,}786 \times 2 \times 0{,}97} = 11{,}5$$

Магнитная индукция в спинке снизится в 2 раза. Пересчитаем число проводников по формуле 14.

$$N_Н = \frac{N_C \times p_Н}{p_С \times 1{,}1} = \frac{6 \times 8}{4 \times 1{,}1} = 11 \text{ проводников}$$

Разница получилась на 0,5 проводника, оставляем 11,5 проводника, так как магнитная индукция в зубцах принята высокая – 2 *Тл*.
Сечение эффективного проводника определим по формуле 21:

$$S_{\text{Н}} = \frac{S_C \times N_C}{N_{\text{Н}}} = \frac{19{,}71 \times 6}{11{,}5} = 11{,}3 \quad \text{мм}^2$$

При 11,5 эффективного проводника лучше принять 4 параллельные ветви, поэтому сечение надо уменьшить в 4 раза – 11,3/4 = 2,83 $мм^2$, а эффективных проводников увеличить $N_{а4}$ = 11,5 × 4 = 46. Число элементарных проводников каждой параллельной ветви при таком сечении можно принять $N_{э}$ = 2, и определим их сечение.

$$S_{\text{э}} = \frac{S_{\text{Н}}}{N_{\text{э}}} = \frac{2{,}83}{2} = 1{,}415 \text{ мм}^2, d_{\text{э}} = 1{,}32 \text{ мм} \times 2$$

Обмоточные данные будут:

a = 4, $N_{а4}$ = (23 + 23) × 2, $d_{э}$ = 1,32 *мм*.

2.9. Пересчитаем обмотку на 3000 *об. мин.* (2p = 2). Диаметральный шаг и число пазов на полюс и фазу будут:

$y_{д}$ = 24 (1 – 25), q = 8

По табл. 3 укороченный шаг можно принять наибольший при q = 8, $y_{у}$ = 16 (1 – 17), $K_{у}$ = 0,87. Определим число эффективных проводников в пазе по формуле 3а с размером спинки. По табл. 2, $B_{с}$ = 1,7 *Тл*.

$$N = \frac{\pi \times 10^4}{Z \times L \times h \times B_C \times K_{\text{у}}} = \frac{31400}{48 \times 20 \times 3{,}5 \times 1{,}7 \times 0{,}87} = 6{,}3$$

Как видно, при самом малом укороченном шаге число проводников стало больше, чем было при четырехполюсном электродвигателе, значит, при увеличенном полюсном делении в 2 раза магнитная индукция в зубцах снизится более чем в 2 раза, а ток холостого хода уменьшится не менее как в 8 раз и двигатель будет иметь слабый пусковой и вращающий моменты и непригоден для работы под нагрузкой.

Пример 3. Электродвигатель типа МД2 – 2, $n_{С}$ = 3000 об. мин., $P_{С}$ = 3,2 *кВт*, $U_{С}$ = 220/380 вольт, $f_{С}$ = 50 *гц*, $N_{С}$ = 28 проводников, $S_{С}$ = 1,97 $мм^2$, $d_{С}$ = 2 × 1,12 *мм*., D_2 = 9,2 *мм*. Надо определить все необходимые параметры его при перемотке обмотки статора для включения через преобразователь частоты тока $f_{Н}$ = 100 герц, напряжением $U_{Н}$ = 330/570 вольт, соответственно с повышением мощности.

3. 1. Число проводников определяется по формуле 11:

$$N_C = \frac{N_C \times f_C \times U_{\text{Н}}}{f_{\text{Н}} \times U_{\text{С}}} = \frac{28 \times 50 \times 330}{100 \times 220} = 21 \text{ проводник}$$

3. 2. Сечение провода определяется по формуле 21:

$$S_{\text{Н}} = \frac{N_{\text{С}} \times S_{\text{С}}}{N_C} = \frac{28 \times 1{,}97}{21} = 2{,}63 \text{ мм}^2;\ d = 1{,}32 + 1{,}25 \text{ мм.}$$

Тип обмотки остается прежний.

3. 3. Число оборотов изменится пропорционально изменению частоты тока по формуле 10:

$$n_C = \frac{n \times f_{\text{Н}}}{f_C} = \frac{3000 \times 100}{50} = 6000 \text{ об/мин}$$

3. 4. Проверим окружную скорость ротора при новых оборотах по формуле 13:

$$V_{\text{Р}} = \frac{\pi \times D_2 \times n_{\text{Н}}}{60 \times 100} = \frac{3{,}14 \times 9{,}2 \times 6000}{60 \times 100} = 28{,}9 \text{ м/сек}$$

Окружная скорость вполне допустима.
3. 5. Мощность повысится пропорционально изменению сечения провода и напряжения:

$$P_{\text{Н}} = \frac{\text{Р}_{\text{С}} \times S_{\text{Н}} \times U_{\text{Н}}}{S_C \times U_C} = \frac{3{,}2 \times 2{,}62 \times 330}{1{,}97 \times 220} = 6{,}4 \text{ кВт}$$

3. 6. Проверим достаточность вращающего момента по формуле 23:

$$M_{\text{С}} = \frac{975 \times P_C}{n} = \frac{975 \times 3{,}2}{3000} = 1{,}04 \quad \text{кг} \times \text{м}$$

$$M_{\text{Н}} = \frac{975 \times P_{\text{Н}}}{n} = \frac{975 \times 6{,}4}{6000} = 1{,}04 \quad \text{кг} \times \text{м}$$

Отношение старого к новому моменту вращения будет:

$$\frac{M_{\text{С}}}{M_{\text{Н}}} = \frac{1{,}04}{1{,}04} = 1$$

Отношение моментов вращения равно единице, следовательно, вращающий момент вполне достаточен.

Пример 4. Определить обмоточные данные и мощность электродвигателя серии 4А закрытого исполнения по длине сердечника $L_{\text{Н}}$ = 16 *см*. В каталоге имеются данные электродвигателя 4А132S6, 220/380 *в*, $P_{\text{С}}$ = 5,5 *кВт*, $L_{\text{С}}$ = 11,5 *см*., $N_{\text{С}}$ = 20, $d_{\text{С}}$ = 2 × 1,04 *мм*., $S_{\text{С}}$ = 2 × 0,849 = 1,7 *мм*^{2}. Остальные размеры сердечника одинаковые.
4. 1. Число проводников определим по формуле 8:

$$N_{\text{Н}} = \frac{N_C \times L_C}{L_{\text{Н}}} = \frac{20 \times 11{,}5}{16} = 14{,}6 = 15 \text{ проводиков}$$

4. 2. Сечение провода определим по формуле 21:

$$S_{\text{Н}} = \frac{S_{\text{С}} \times N_C}{N_{\text{Н}}} = \frac{17 \times 20}{15} = 2{,}26 \text{ мм}^2, d_{\text{Н}} = 2 \times 1{,}18 \text{ мм.}$$

4. 3. Мощность электродвигателя определим пропорционально увеличению сечения:

$$P_{\text{Н}} = \frac{P_C \times S_{\text{Н}}}{S_C} = \frac{5{,}5 \times 2{,}26}{1{,}7} = 7{,}3 \text{ кВт}$$

Данные электродвигателя соответствуют электродвигателю 4А132М6.

4. 4. Если этому электродвигателю обмотку выполнить на напряжение 380/660 *в*, то число эффективных проводников в пазе будет 15 × 1,73 = 26, а сечение провода S = 2,26/1,73 = 1,3 *мм*² или d = 1,25 *мм*.

Пример 5. Определить обмоточные данные для ротора Z_2 = 24, электродвигателя АОК2–42–4, P = 4 *кВт*, Z = 36, N = 26, U = 220/380 вольт, обмотка однослойная.
5. 1. Принимаем линейное напряжение на кольцах ротора U_2 = 250 *в*.
5. 2. Определим число проводников в пазе ротора:

$$N_2 = \frac{U_2 \times N \times Z}{U \times Z_2} = \frac{250 \times 26 \times 36}{380 \times 24} = 25{,}7 = 26$$

или N_2 = 13 + 13 с двухслойной обмоткой, как указано в каталоге.
5. 3. Определим число пазов на полюс и фазу и шаг обмотки ротора.

$$q_2 = \frac{Z_2}{p \times 6} = \frac{24}{2 \times 6} = 2, y_2 = \frac{Z_2}{2p} = \frac{24}{4} = 6\ (1 - 7)$$

5. 4. Определим размер обмоточного провода в роторе. При заполнении паза ротора стальными спицами:

D_{Π} = 1,06/1,2 *мм*. (S_{Π} = 0,916 *мм*²) в паз вместилось N_{Π} = 77.

$$S_2 = \frac{S_{\Pi} \times N_{\Pi}}{N_2} = \frac{0{,}216 \times 77}{26} = 2{,}7 \text{ мм}^2, d_2 = 2 \times 1{,}32 \text{ мм.}$$

Если принять напряжение в роторе 200 или 300 вольт, то число проводников и сечение провода изменятся, но так как при этом также изменяется ток в роторе, то мощность остается неизменной.

Пример 6. Электродвигатель имеет на паспортной табличке данные: тип – иномарка, P = 14 *кВт*, $U_{Н}$ = 380 *в*, соединение выводов – △, n = 1470 *об. мин.*, $I_{Н}$ = 27,2 *А*, открытое исполнение.
Необходимо определить сечение эффективного проводника:
6. 1. При данном напряжении – 380 *в*, соединением выводов – △.
6. 2. Для электродвигателя на напряжение – 380 *в*, соединением – Y при подключении выводов на напряжение 380 *в*, как наиболее распространенное напряжение (с соответствующим числом проводников в пазе статора).
6. 1. Для электродвигателя напряжением 380 *в*, соединением △:

$$U_{Ф} = U_{Н}, I_{Ф} = \frac{I_{Н}}{1{,}73} = \frac{27{,}2}{1{,}73} = 15{,}7 \text{ а.}$$

Принимаем плотность тока в таблице 4 для открытого исполнения и добавляем 15%, как для иномарки j = 5,7 *А*/*мм*², j = 5,7 + 15% = 5,7 + 0,86 = 6,6 *А*/*мм*².
Сечение эффективного проводника (фазы) определим по формуле 14а:

$$S = \frac{I}{j} = \frac{15{,}7}{6{,}6} = 2{,}4 \text{ мм}^2$$

Сечение большое, принимаем два элементарных проводника сечением S = 2 × 1,2 *мм*², d = 2 × 1,25 *мм*.

6. 2. Для электродвигателя напряжением 380 *в* при включении выводов в звезду (Y).
В этом случае $U_Ф = U_Н/1,73 = 380/1,73 = 220$ *в* и $I_Ф = I_Н$.
Номинальный ток при 380 *в* соединением выводов в Y или △ будет одинаков, значит, при соединении в звезду (Y), $I_Ф = I_Н = 27,2$ *А*.
Сечение эффективного проводника (фазы) на 380 *в* соединением звезда (Y) будет:

$$S = \frac{I}{j} = \frac{27,2}{6,6} = 4,12 \text{ мм}^2$$

Сечение большое, принимаем три элементарных проводника сечением $S = 3 \times 1,38$ *мм*^{2}, $d = 3 \times 1,32$ *мм*.

Из практики.

Как определить число полюсов и *об. мин.* электродвигателя по обмотке статора.

Число катушечных групп в обмотке зависит от числа фаз, числа пар (p) или числа полюсов ($2p$) и типа обмотки.
Для однослойной обмотки число катушечных групп в фазе (КГф) равно числу пар полюсов – КГф = p, а в трехфазной обмотке в три раза больше – КГ – следовательно если статор имеет КГ1 = 6, то число пар полюсов будет $p = 6 : 3 = 2$, если КГ1 = 9, то $p = 9 : 3 = 3$, если КГ1 = 12, то $p = 12 : 3 = 4$ и т. д.
При двухслойной, однослойной "в развалку" и одно–двухслойной обмотках число катушечных групп в фазе (КГф2) равно числу полюсов – КГф2 = $2p$, а в статоре в три раза больше – КГ2 = 2р × 3 = $6p$, значит при наличии в статоре – КГ2 = 6, $p = 6 : 6 = 1$ и т. д.

Число полюсов в два раза больше числа пар полюсов.

Взаимосвязь частоты вращения в *об. мин.* и числа пар полюсов электродвигателя приведена в пособии. Если катушечные группы сторонами секций расположены рядом в пазах с направлением лобовых частей в разные стороны, то эта обмотка будет однослойной в развалку. Число секций в КГ будет по две при $Z = 24$ и по три при $Z = 36$.
Число полюсов или *об. мин.* определяется как в двухслойной обмотке, но обычно развалка применяется в обмотках мелких электродвигателей на $2p = 2$ для уменьшения шага, при этом всего в статоре КГ = 6.

Приложение 8.

Вывод формул упрощенных расчетов
при замене обмотки в трехфазных асинхронных электродвигателях.

Расчет обмоточных данных электродвигателей в основном сводится к определению числа полюсов, числа проводников в пазе статора или фазного ротора и сечения обмоточного провода. При необходимости определяются номинальные величины: фазного тока, мощности и момента вращения. Для упрощенного расчета выведены новые формулы, а существующие таблицы магнитных индукций преобразованы, и сам процесс расчета усовершенствован. Ниже приводится вывод формул с целью дать представление, откуда взяты все необходимые параметры.

8. 1. Вывод формул определения числа проводников в пазе статора.

Электродвижущая сила (ЭДС) в проводнике помещенного в переменное магнитное поле определяется по формуле:

$$E = 2{,}22 \times \Phi \times f \times 10^4$$

E – ЭДС = 0,97 × Uф – напряжение в вольтах.
Из формулы ЭДС определяем магнитный поток:

$$\Phi = \frac{0{,}97 \times U_\Phi \times 10^4}{2{,}22 \times f}$$

Вместо одного проводника в формулу надо ввести число проводников, приходящихся на фазу в статоре, а этому должны соответствовать и остальные величины.
Произведение числа проводников в пазе – N, на третью часть числа пазов статора (Z × ⅓) равно числу проводников в фазе статора трехфазного электродвигателя, но так как катушка имеет две стороны необходим множитель 2, т. е. 3×2:

$$N_\Phi = \frac{N \times Z}{3 \times 2} = \frac{N \times Z}{6}$$

Обмотка в статоре располагается по пазам и может иметь укороченный шаг, поэтому необходимо в формулу ввести коэффициенты – распределения и укорочения обмотки. Обмоточные коэффициенты распределения и укорочения определяются по формулам:

$$K_\text{Р} = \frac{0{,}5}{q \times sin\frac{30^o}{q}}; \quad K_\text{у} = siny_\text{у} \times \frac{30^o}{q} = sin\beta 90^o$$

Но так как в зависимости от числа пазов на полюс и фазу обмоточный коэффициент распределения обмотки колеблется в пределах 0,957–0,965, то можно принять среднюю его величину $K_\text{Р}$ = 0,96. Преобладающее большинство электродвигателей выпускается с обмоткой напряжения 220/380 вольт и соединением обмотки, треугольник–звезда, поэтому фазное напряжение в обоих случаях будет Uф = 220 *в*. Распространенная стандартная величина частоты тока на электростанциях обычно принята f = 50 *гц*.
Подставляя все величины, формула примет вид:

$$\Phi = \frac{0{,}97 \times U_\Phi \times 3 \times 10^4}{2{,}22 \times f \times K_\text{Р} \times N \times Z \times K_\text{у}} = \frac{0{,}97 \times 220 \times 3 \times 10^4}{2{,}22 \times 50 \times 0{,}96 \times N \times Z \times K_\text{у}} = \frac{6 \times 10^4}{N \times Z \times \text{К}_\text{у}}$$

Магнитный поток в статоре электродвигателя, создаваемый обмоткой фазы, обратно пропорционален числу проводников в пазе и числу зубцов.

$$\Phi = \frac{6 \times 10^4}{N \times Z \times K_\text{у}}$$

Величина магнитного потока в статоре электродвигателя должна соответствовать:
1). Площади сечения активной стали зубцов на один полюс.

$$\Phi = B_З \times \frac{2}{\pi} \times Q_З \times 0{,}955 \quad \text{где} \quad Q_З = \frac{Z \times b \times L}{2p}$$

тогда:

$$\Phi = \frac{B_З \times 2 \times 0{,}955 \times Z \times b \times L}{3{,}14 \times 2p} = \frac{0{,}3 \times Z \times B_З \times b \times L}{p}$$

2). Площади сечения активной стали спинки статора:

$$\Phi = B_{\text{С}} \times Q_C \ \text{ где } \ Q_C = 2 \times h \times L \times 0{,}955$$

тогда:

$$\Phi = 2 \times 0{,}955 \times h \times L \times B_C$$

(0,955 – коэффициент заполнения сталью)
3). Площади сечения полюсного деления в воздушном зазоре:

$$\Phi = \frac{B_{\text{В}} \times 2}{\pi \times Q_B} \ \text{ где } \ Q_B = \frac{\pi \times D \times L}{2p}$$

тогда:

$$\Phi = \frac{B_B \times 2 \times \pi \times D \times L}{2p} = \frac{B_B \times D \times L}{p}$$

Во всех трех формулах магнитный поток заменяем равенством с наличием числа проводников в пазе статора.
1)

$$\frac{6 \times 10^4}{Z \times N \times K_{\text{у}}} = \frac{0{,}3 \times Z \times L \times b \times B_3}{p}$$

или

$$N\text{з} = \frac{2p \times 10^5}{Z^2 \times L \times b \times B_3 \times K_{\text{у}}}$$

2)

$$\frac{6 \times 10^4}{N \times Z \times K_{\text{у}}} = 2 \times 0{,}955 \times L \times h \times B_C$$

или

$$Nc = \frac{3{,}14 \times 10^4}{Z \times L \times h \times B_C \times K_{\text{у}}} = \frac{\pi \times 10^4}{Z \times L \times h \times B_C \times K_{\text{у}}}$$

3)

$$\frac{6 \times 10^4}{Z \times N \times K_{\text{у}}} = \frac{L \times D \times B_B}{p} \quad \text{или} \quad N_B = \frac{6 \times p \times 10^4}{Z \times L \times D \times B_B \times K_{\text{у}}}$$

Ф – магнитный поток в Вебер (*Вб*)
$B_{\text{З}}$, $B_{\text{С}}$, $B_{\text{В}}$ – магнитная индукция в зубцах, спинке и воздушном зазоре в теслах (*Тл*).
$Q_{\text{З}}$, $Q_{\text{С}}$, $Q_{\text{В}}$ – площади сечения в зубцах, спинке, и воздушном зазоре в $см^2$.
$N_{\text{З}}$, $N_{\text{С}}$, $N_{\text{В}}$ – число проводников в пазе статора, рассчитанные по размеру зубца, спинке и воздушному зазору, p, $2p$ – число пар и число полюсов.
q – число пазов на полюс и фазу (число секций в катушечной группе).
Z – число зубцов (пазов) статора.
h – высота (толщина) спинки статора в *см*.
D – диаметр расточки статора в *см*.
0,955 – коэффициент изоляции между листами стали.
2 – деление магнитного потока в спинке на две части.
$2/\pi$ = 0,637 – коэффициент, учитывающий неравномерность магнитной индукции под полюсами.
π = 3,14 – отношение длины окружности к диаметру.
$K_{\text{Р}}$, $K_{\text{У}}$ – обмоточные коэффициенты распределения и укорочения.
2,22 и 10^4 – коэффициенты, определяющие действующее значение магнитных и электрических величин.
b – ширина зубца статора в *см*.
L – длина активной части стали (сердечника) статора в *см*.

Если зубец имеет разные размеры, то расчетный замер его ширины производится на высоте ⅓ от расточки статора. Расчетным путем можно определить этот размер по формуле:

$$bz_{1/3} = \frac{(2 \times bz_1) + bz_2}{3}$$

где bz_1 – узкая и bz_2 широкая часть зубца в *см*.

Если сердечник статора имеет охлаждающие воздушные каналы, то принимается общая длина сердечника, за вычетом половины ширины всех воздушных каналов. Из трех выведенных формул первая включает ширину зубцов, а третья – диаметр расточки статора, но так как в обеих присутствует число пар полюсов, то магнитный поток полюсного деления, проходящий в первом случае через зубцы, а во втором – через воздушный зазор, зависит от их сечений. Несмотря на то, что магнитная индукция в воздухе в половину ниже, чем в стали (из–за разной проводимости), магнитный поток проходит через зубец и воздушный зазор одинаковой величины.
Происходит ото потому, что предусмотрен необходимый размер воздушного зазора между статором и ротором, а площадь сечения на один полюс в воздушном зазоре немного больше двух раз, чем общее сечение зубцов стали, в результате чего магнитные сопротивления их будут одинаковы.
Заводы–изготовители конструируют электродвигатели так, что при расчетном числе проводников в пазе для получения необходимого магнитного потока, а значит и электромагнитной силы, магнитные индукции в зубцах и воздушном зазоре обязательно предусмотрены наивыгоднейшие или иначе, магнитные индукции взаимосвязаны между собой, поэтому если правильно выбрана магнитная индукция в зубцах, то в воздушном зазоре магнитная индукция соответственно будет обязательно нормальной при любом числе полюсов, в результате чего при расчете по магнитным индукциям в зубцах и воздушном зазоре число проводников в пазе статора должно быть обязательно одинаковым. Спинка статора изготовляется на одну или две ступени оборотов, поэтому магнитная индукция в ней может быть нормальной или заниженной, в связи с чем полученное число проводников по формуле с магнитной индукцией в спинке соответствует только размеру спинки.
Учитывая это, для расчета числа проводников в пазе статора необходимо применить одну формулу с наличием магнитной индукции в зубцах по размеру зубца.

$$N = \frac{2p \times 10^5}{Z^2 \times L \times b \times B_З \times К_у}$$

Остальные две формулы с наличием магнитных индукций в спинке и воздушном зазоре преобразовываются и используются как проверочные этих величин по числу проводников, полученных при расчете по формуле с размером зубца.

$$B_C = \frac{\pi \times 10^4}{Z \times L \times h \times N \times К_у} \quad \text{и} \quad B_B = \frac{6 \times p \times 10^4}{Z \times L \times D \times N \times К_у}$$

8. 2. Вывод формулы для определения числа полюсов.

Две формулы с наличием размера спинки и зубца статора, имеющие одинаковую величину магнитного потока, приравниваются:

$$2 \times 0{,}955 \times L \times h \times B_C = \frac{0{,}3 \times Z \times L \times b \times B_З}{p}$$

или

$$2 \times p \times h \times B_C = Z \times b \times B_3 \times 0{,}32$$

откуда:

$$2p = \frac{0{,}32 \times Z \times b \times B_3}{h \times B_C}$$

Приравниваем магнитные индукции в зубцах и спинке статора. Тогда:

$$2p = \frac{0{,}32 \times Z \times b}{h}$$

Но так как магнитная индукция в зубцах статора допускается выше, чем в спинке в пределах порядка 5–15%, то коэффициент в формуле необходимо увеличить в среднем на 10%, т.е. 0,32 + 0,03 = 0,35. Окончательная формула будет:

$$2p = \frac{0{,}35 \times Z \times b}{h} \quad \text{и существует} \quad 2p = \frac{0{,}5 \times D}{h}$$

8.3. Вывод формулы для определения числа проводников в пазе статора по длине сердечника.

Во всех сериях выпускаемых электродвигателей при одном габарите и одинаковом числе полюсов предусмотрена разная длина сердечника статора (первой и второй величины), но с одинаковыми остальными размерами стали. Делается это не только с целью экономии дорогостоящих штампов, при изготовлении листов для пакетов сердечников и уменьшения ступеней габаритов электродвигателей, а иногда некоторые заводы изменяют длину сердечника от проектной по особым конструктивным соображениям. Все эти электродвигатели отличаются друг от друга числом проводников в пазе, а, следовательно, сечением провода и мощностью.
Для таких электродвигателей, при последовательной обмотке и одинаковом ее типе, произведения чисел в пазе статора на свою длину сердечников равны между собой.

$$N_C \times L_C = N_{\text{Н}} \times L_{\text{Н}}$$

Учитывая это, если на электродвигатель отсутствуют обмоточные данные, но имеются данные на другой, отличающийся только длиной сердечника, то число проводников в пазе статора нет необходимости определять по основной формуле, а можно определить путем сравнения с электродвигателем с известными данными методом пропорциональной зависимости между числом проводников в пазе статора и длиной сердечников по формуле:

$$N_H = \frac{Nc \times L_C}{L_{\text{Н}}}$$

При этом исполнение и серия электродвигателей должны быть одинаковыми.

8. 4. Вывод формулы для определения числа проводников в пазе фазного ротора.

Асинхронный электродвигатель с фазным ротором подобен трансформатору, поэтому при последовательной обмотке можно записать равенство между произведениями напряжений статора – U и ротора – U_2 на число проводников в пазах – N и N_2

$$U \times N_2 = U_2 \times N \quad \text{или} \quad N_2 = \frac{U_2 \times N}{U}$$

При этом должно быть одинаковое число пазов статора и ротора. Но так как эти числа всегда различны, то в уравнение необходимо ввести числа пазов статора и ротора. Тогда:

$$N_2 = \frac{U_2 \times N \times Z}{U \times Z_2}$$

U, U_2 – напряжение статора и ротора, N, N_2 – число проводников в пазах статора и ротора, Z, Z_2 – число зубцов (пазов) статора и ротора.

Таблицы обмоточных данных трехфазных электродвигателей отечественного производства серии АИР, 4А, 4 АН, А2, АО2, Т, МД, СВМ, АСВ, АРЗ, А, АО, АОЗ, ВАО, ВР, МА, 4МТ F, (Н) (М) (К), КТ, МТ

Таблицы обмоточных данных трехфазных электродвигателей Болгарского производства серии А2 (АО2), АО, 4АО, А(АО), М, АОМ, АОЛ, АМ, А(К)

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* Y серии АИР.

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*l*	*h*	*L*	*КГ*
АИР71А–2	0,75	24	2+2	10	1	78	0,6	1	1,8	63	68	14,8	410	6
АИР71В–2	1,1	24	2+2	10	1	66	0,63	1,1	2,6	63	77	14,8	428	6
АИР71А–4	0,55	24	2	6	1	112	0,5	0,8	1,7	68	65		308	6
АИР71В–4	0,75	24	2	6	1	96	0,56	0,9	2,2	68	76		330	6
АИР71А–4	0,55	36	3	9	1	87	0,53	0,85	1,4	70	62	9,2	336	6
АИР71В–4	0,75	36	3	9	1	69	0,6	0,93	1,8	70	78	9,2	368	6
АИР71А–6	0,37	36	2	6	1	110	0,42	0,73	1,5	78	65	7,6	280	9
АИР71В–6	0,55	36	2	6	1	86	0,5	0,93	1,8	78	90	7,6	330	9
АИР71В–8	0,25	36	2 и 1	4 и 5	1	132	0,4	0,83	1,2	77	80	7,4	302	12
АИР80А–2	1,5	24	2+2	10	1	61	0,8	1,7	3,3	73	78	15,7	487	6
АИР80В–2	2,2	24	2+2	10	1	50	0,9	1,9	4,6	73	102	15,7	540	6
АИР80А–4	1,1	36	3	9	1	60	0,63	1,15	2,7	86	78	11	372	6
АИР80В–4	1,5	36	3	9	1	50	0,71	1,35	3,6	86	98	11	412	6
АИР80А–6	0,75	36	2	6	1	78	0,56	1,1	2,3	89	78	8,4	345	9
АИР80В–6	1,1	36	2	6	1	57	0,71	1,6	3,9	89	115	8,4	420	9
АИР80А–8	0,37	36	2 и 1	4 и 5	1	100	0,5	1,1	1,4	92	100	11,4	346	12
АИР80В–8	0,55	36	2 и 1	4 и 5	1	80	0,56	1,2	1,9	92	80	11,4	380	12
АИР90L–2	3	24	2+2	10	1	42	1,12	2,6	6,1	82	100	18,3	580	6
АИР90L–4	2,2	36	3	9	1	41	0,9	1,8	5	96	100	13,8	426	6
АИР90L–6	1,5	36	2	6	1	52	0,8	1,9	4,1	100	110	10,3	428	9
АИР90LА–8	0,75	48	2	6	1	68	0,63	1,0	2,5	104	100	8,1	357	12
АИР90LВ–8	1,1	48	2	6	1	51	0,75	2,1	3,3	104	130	8,1	417	12
АИР100S–2	4	24	2+2	10	1	38	1,0×2	4	7,8	89	105	21	609	6
АИР100L–2	5,5	24	2+2	10	1	30	1,12×2	4,5	11	89	130	21	671	6
АИР100S–4	3	36	3	9	1	38	1,12	1,5	6,6	104	98	15,8	482	6
АИР100L–4	4	36	3	9	1	29	1,32	1,7	8,6	104	127	15,8	540	6
АИР100L–6	2,2	36	2	6	1	42	1,06	2,6	5,6	113	120	11,7	426	9
АИР100L–8	1,5	48	2	6	1	50	0,85	2,5	4,1	117	100	10,5	417	12
АИР112М–2	7,5	36	3+3	15	1	18	1,25×2	5,1	14,8	108	125	25,4	700	6
АИР112М–4	5,5	36	3	9	1	26	1,06×2	3,9	11,9	120	125	18,2	510	6
АИР112МА–6	3	54	3	9	1	28	1,12	2,9	7	132	100	13,4	422	9
АИР112МВ–6	4	54	3	9	1	24	1,25	3,5	8,7	132	125	13,4	472	9
АИР112МА–8	2,2	48	2	6	1	40	1,06	3,2	6	132	100	11,5	406	12
АИР112МВ–8	3	48	2	6	1	31	1,18	3,5	7,5	132	130	11,5	466	12
АИР132М–2	11	36	3+3	15	2	29	1,12×2	7,3	21,5	127	130	31,3	772	6
АИР132S–4	7,5	36	3	9	1	23	1,32×2	5,7	15,4	140	115	21,6	546	6
АИР132М–4	11	36	3	9	2	33	1,12×2	6,9	21,5	140	160	21,6	636	6
АИР132S–6	5,5	54	3	9	1	21	1,06×2	4,5	12,2	154	115	16,7	480	9
АИР132М–6	7,5	54	3	9	1	15	1,25×2	5,2	15,8	154	160	16,7	570	9
АИР132S–8	4	48	2	6	1	28	1,4	4,3	10,3	158	115	14,8	430	12
АИР132М–8	5,5	48	2	6	1	21	1,12×2	5	13,5	158	160	14,8	496	12

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* Y серии АИР.
(продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*h*	*l*	*КГ*
АИР160S–2	15	36	6	13	2	15+16	1,32×2	10,6	28,2	140	120	35,5	790	6
АИР160M–2	18,5	36	6	13	2	12+13	1,5×2	11,7	34,6	140	145	35,5	840	6
АИР160S–4	15	48	4	10	2	13+13	1,32+1,4	10,7	29	163	150	22,7	690	12
АИР160M–4	18,5	48	4	10	1	5+6	1,4×3+1,5	11,8	35,4	163	180	22,7	750	12
АИР160S–6	11	54	3	9	1	14	1,5×2	8,1	23,5	180	150	18,5	620	9
АИР160M–6	15	54	3	9	3	31	1,0×2	9,5	30,8	180	210	18,5	750	9
АИР160S–8	7,5	48	2	6	1	20	1,18×3	8,6	17,5	180	150	15,5	605	12
АИР160M–8	11	48	2	6	1	14	1,4×3	10,2	25,3	180	210	15,5	725	12
АИР180S–2	22	36	6	12	2	12+13	1,32+1,4	12,7	42,1	155	120	41,5	790	6
АИР180M–2	30	36	6	12	2	10+10	1,5×3	14,2	57,1	155	160	41,5	824	6
АИР180S–4	22	48	4	10	2	11+11	1,6×2	14,5	42,4	190	150	25	723	12
АИР180M–4	30	48	4	10	2	8+9	1,32×3+1,25	16,2	57,1	190	200	25	823	12
АИР180M–6	18,5	72	4	10	2	8+9	1,4+1,5	13	37	210	195	16,5	740	18
АИР180M–8	15	72	3	7	2	11+11	1,25+1,32	12,7	32,9	210	195	16,5	682	24
АИР200M–2	37	36	6	11	2	10+10	1,5×2+1,6×2	19,4	70	178	150	43	950	6
АИР200L–2	45	36	6	11	2	8+9	1,5×5	20,7	83	178	175	43	1000	6
АИР200M–4	37	48	4	10	2	7+8	1,18×6	18,3	60	208	195	30,5	880	12
АИР200L–4	45	48	4	10	2	6+7	1,6×4	20,8	82,5	208	235	30,5	960	12
АИР200M–6	22	72	4	10	3	12+12	1,32×2	16,4	42	236	195	19	780	18
АИР200L–6	30	72	4	10	3	10+10	1,4+1,5	17,2	57	236	225	19	840	18
АИР200M–8	18,5	72	3	7	4	19+19	1,5	14	38,5	236	195	19	700	24
АИР200L–8	22	72	3	7	4	17+17	1,06+1,12	15,1	46	236	225	19	760	24
АИР225M–2	55	36	6	11	2	7+8	1,6×5	23,8	99	195	195	56,5	1050	6
АИР225M–4	55	48	4	10	4	12+13	1,5×3	21,6	100	235	225	33,5	1020	12
АИР225M–6	37	72	4	10	3	8+9	1,32×3+1,4	21,2	64	258	200	23	843	18
АИР225M–8	30	72	3	7	2	7+7	1,32×4		64	258	220	23	780	24
АИР250S–2	75	48	8	14	2	5+5	1,7×7	40	136	218	185	64	1080	6
АИР250M–2	90	48	8	14	2	4+5	1,7×8	34,5	158	218	210	64	1130	6
АИР250S–4	75	60	5	12	4	9+9	1,6×4	39,4	135	273	230	35,5	1020	12
АИР250M–4	90	60	5	12	4	8+8	1,4×6	43	160	273	255	35,5	1070	12
АИР250S–6	45	72	4	10	3	8+9	1,32×4	27	84	297	190	28,5	820	18
АИР250M–6	55	72	4	10	3	7+8	1,4×4	27	102	297	215	28,5	870	18
АИР250S–8	37	72	3	7	4	14+14	1,5×2	22,7	75	297	190	28,5	730	24
АИР250M–8	45	72	3	7	4	12+12	1,6×2	26	80	297	215	28,5	780	24
АИР250S10	22	90	3	7	2	9+9	1,32×3	24	62	310	150	23	620	30
АИР250M10	30	90	3	7	2	7+7	1,32×4	26	81	310	190	23	700	30

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* серии 4А, 4АН.

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*b*	*h*	*l*	*КГ*	сх
А50А–2	0,09	12	1+1	6	1	450	0,28	0,44		41	42			294	6	Y
А50В–2	0,12	12	1+1	6	1	394	0,31	0,53		41	50			310	6	Y
А50А–4	0,06	12	1	3	1	635	0,28	0,48		46	52			230	6	Y
А50В–4	0,09	12	1	3	1	500	0,31	0,55		46	50			250	6	Y
А56А–2	0,18	24	2+2	10	1	166	0,28	0,38	0,5	48	47	2,44	11,5	306	6	Y
А56В–2	0,25	24	2+2	10	1	143	0,33	0,45	0,6	48	56	2,44	11,5	324	6	Y
А56А–4	0,12	24	2	6	1	254	0,28	0,44	0,5	55	47	3,17	6,2	254	6	Y

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* серии 4А, 4АН.
(продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*b*	*h*	*l*	*КГ*	сх
А56В–4	0,18	24	2	6	1	203	0,33	0,49	0,7	55	56	3,17	6,2	262	6	Y
А63А–2	0,37	24	2+2	11	1	126	0,4	0,56	0,9	54	56	2,96	14,2	338	6	Y
А63В–2	0,55	24	2+2	11	1	101	0,45	0,63	1,3	54	65	2,96	14,2	366	6	Y
А63А–4	0,25	24	2	6	1	168	0,4	0,55	0,8	61	56	4	8,3	278	6	Y
А63В–4	0,37	24	2	6	1	137	0,45	0,56	1,2	61	65	4	8,3	290	6	Y
А63А–6	0,18	36	2	6	1	170	0,33	0,67	0,7	65	56	2,55	5,6	286	9	Y
А63В–6	0,25	36	2	6	1	125	6,4	0,86	1	65	75	2,55	5,6	300	9	Y
А71А–2	0,75	24	2+2	10	1	83	0,53	0,88	1,7	65	65	3,99	15,2	420	6	Y
А71В–2	1,1	24	2+2	10	1	73	0,6	0,93	2,4	65	74	3,99	15,2	438	6	Y
71А–4	0,55	24	2	6	1	113	0,53	0,89	1,6	70	65	4,74	10,4	336	6	Y
71В–4	0,75	24	2	6	1	95	0,56	0,92	2,2	70	74	4,74	10,4	354	6	Y
71А–6	0,37	36	2	6	1	114	0,45	0,95	1,3	76	65	3,14	6,8	300	9	Y
71В–6	0,55	36	2	6	1	85	0,56	1,07	1,9	76	90	3,14	6,8	350	9	Y
71В–8	0,25	36	1 и 2	5 и 4	1	148	0,45	0,94	1,2	76	74	3,14	6,8	292	12	Y
80А–2	1,5	24	2+2	10	1	61	0,8	1,55	3,2	74	78	3,91	16,2	474	6	Y
80В–2	2,2	24	2+2	10	1	48	0,95	1,79	4,5	74	98	3,91	16,2	514	6	Y
80А–4	1,1	36	3	9	1	60	0,67	1,4	2,7	84	78	3,31	10,8	392	6	Y
80В–4	1,5	36	3	9	1	49	0,75	1,5	3,5	84	98	3,31	10,8	432	6	Y
80А–6	0,75	36	2	6	1	82	0,6	1,3	2,2	88	78	3,78	7,9	336	9	Y
80В–6	1,1	36	2	6	1	58	0,71	1,6	3	88	115	3,78	7,9	410	9	Y
ПА80А–6	0,37	36	2	6	1	117	0,5	1	1,3	88	56	3,78	7,9	292	9	Y
ПА80В–6	0,55	36	2	6	1	82	0,6	1,3	2	88	76	3,78	7,9	336	9	Y
80А–8	0,37	36	1 и 2	5 и 4	1	121	0,5	1,2	1,4	88	78	3,78	7,9	310	12	Y
80В–8	0,55	36	1 и 2	5 и 4	1	91	0,56	1,3	2	88	98	3,78	7,9	350	12	Y
90L–2	3	24	2+2	10	1	44	1,06	2,4	5,8	84		4,0	18,9	560	6	Y
90L–4	2,2	36	3	10	1	40	0,9	1,9	4,9	95	100	3,92	13,1	462	6	Y
90L–6	1,5	36	2	6	1	51	0,85	1,9	3,9	100	110	4,45	9,7	432	9	Y
90LA–8	0,75	36	1 и 2	5 и 4	1	74	0,67	1,6	2,6	100	110	4,45	9,7	370	12	Y
90LB–8	1,1	36	1 и 2	5 и 4	1	58	0,75	1,9	3,5	100	130	4,45	9,7	430	12	Y
100S–2	4	24	2+2	10	1	37	1,32	3,6	7,9	95	100	4,63	21,4	634	6	Y
100L–2	5,5	24	2+2	10	1	30	1,06×2	4,1	11	95	130	6,63	21,4	690	6	Y
100S–4	3	36	3	9	1	35	1,12	2,8	6,6	105	100	4,71	14,7	500	6	Y
100L–4	4	36	3	9	1	28	1,32	3,4	8,4	105	130	4,71	14,7	560	6	Y
100L–6	2,2	36	2	6	1	43	1,06	2,7	5,4	113	110	4,95	11,1	460	9	Y
100L–8	1,5	36	1 и 2	5 и 4	1	56	0,95	2,6	4,6	113	120	4,95	11,1	430	12	Y
112М–2	7,5	24	2+2	10	2	52	1,25	4,6	15	110	125	5,43	24,4	690	6	Y
112М–4	5,5	36	3	9	1	25	1,4	3,6	12	126	125	5,1	17,2	572	6	Y
112МА–6	3	54	3	9	1	28	1,12	3,1	7	132	100	3,66	12,9	454	9	Y
112МВ–6	4	48	3	9	1	23	1,25	3,5	8,9	132	125	3,66	12,9	504	9	Y
112МА–8	2,2	48	2	6	1	39	1,06	3	6	132	100	447	11	416	12	Y
112МВ–8	3	24	2	6	1	31	1,18	3,6	7,8	132	130	4,47	11	476	12	Y
132М–2	11	24	2+2	10	1	21	1,18×3	5,9	21	130	130	8,22	29,3	772	6	Y
132S–4	7,5	36	3	9	1	22	1,25×2	5,2	15,2	145	115	6,56	20,6	596	6	Y
132М–4	11	36	3	9	2	32	1,06×2	5,9	21,5	145	160	6,56	20,6	686	6	Y
132S–6	5,5	54	3	9	1	20	1,06×2	4,3	12,1	158	115	4,53	15,9	520	9	Y
132М–6	7,5	54	3	9	1	15	1,7	5,1	15,9	158	160	4,53	15,99	610	9	Y

ПА – "птичник".

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* серии 4А, 4АН.
(продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*b*	*h*	*l*	*КГ*	сх
132S–8	4	48	2	5	1	27	1,4	4,3	10,5	158	115	5,57	14,3	470	12	Y
132M–8	5,5	48	2	5	1	21	1,06×2	4,6	13,5	158	160	5,57	14,3	560	12	Y
160S–2	15	36	6	12	2	16+16	1,7	8,9	28,2	155	110	5,27	36,5	760	6	Y
160M–2	18,5	36	6	12	2	14+14	1,32×2	9,3	34,1	155	130	5,27	36,5	800	6	Y
160S–4	15	48	4	12	2	27	1,25×2	9,7	28,5	185	130	5,03	21	690	6	Y
160M–4	18,5	48	4	12	2	22	1,4×2	11,1	34,5	185	170	5,03	21	770	6	Y
160S–6	11	54	3	9	1	15	1,4×2	8	22,4	197	145	5,53	16,7	680	9	Y
160M–6	15	54	3	9	3	34	1,32	9,3	29,9	197	200	5,53	16,7	785	9	Y
160S–8	7,5	48	2	6	2	40	1,32	7,6	18,4	197	145	6,31	16,4	600	12	Y
160M–8	11	48	2	6	2	29	1,6	9,3	26,4	197	200	6,31	16,4	710	12	Y
H160S–2	22	36	6	12	2	14+14	1,32×2	8,8	41,2	155	110	5,27	36,5	760	6	Y
H160M–2	30	36	6	12	2	11+11	1,5×2	10,2	54,8	155	150	5,27	36,5	840	6	Y
H160S–4	18,5	48	4	12	2	26	1,25×2	8,4	36,2	185	130	5,03	21	690	6	Y
H160M–4	22	48	4	12	2	21	1,5+1,4	11,4	41,4	185	170	5,03	21	770	6	Y
180S–2	22	36	6	11	2	13+14	1,6+1,5	12,4	41,1	171	110	6,32	44,3	740	6	Y
180M–2	30	36	6	11	2	11+11	1,4×3	13,4	54,1	171	145	6,32	44,3	850	6	Y
180S–4	22	48	4	10	2	11+12	1,5×2	13,4	40,8	211	145	6	24,1	750	12	Y
180M–4	30	48	4	10	2	9+9	1,4×3	15,2	55	211	185	6	24,1	820	12	Y
180M–6	18,5	72	4	10	2	10+10	1,32×2	12,3	36,1	220	145	4,72	18	660	18	Y
180M–8	15	72	3	7	2	11+11	1,32×2	11,9	32,6	220	170	4,72	18	634	24	Y
H180S–2	37	36	6	11	2	10+11	1,25×4	13,7	67	171	145	6,34	44,3	820	6	Y
H180M–2	45	36	6	11	2	9+10	1,5×3	14,1	80	171	170	6,34	44,3	870	6	Y
H180S–4	30	48	4	10	4	21+21	1,6	14,3	57	211	145	6	24,1	770	12	Y
H180M–4	37	48	4	10	4	17+17	1,2×25	15,2	69	211	185	6	24,1	850	12	Y
H180S–6	18,5	72	4	10	3	16+16	1,5	11,6	37	220	130	4,72	19	630	18	Y
H180M–6	22	72	4	10	3	13+13	1,18×2	12,7	44	220	170	4,72	19	710	18	Y
H180S–8	15	72	3	7	2	11+11	1,32×2	11,8	33	220	170	4,72	19	634	24	Y
H180M–8	18,5	72	3	7	2	9+9	1,4×2	13,5	39	220	220	4,72	19	734	24	Y
200M–2	37	36	6	11	2	10+10	1,0×4	19,4	69	194	130	7,06	47,3	860	6	Y
200L–2	45	36	6	11	2	8+9	1,32×6	20,6	82	194	160	7,06	47,3	920	6	Y
200M–4	37	48	4	10	2	8+9	1,32×4	18,2	68	238	170	6,58	29	860	12	Y
200L–4	45	48	4	10	2	7+7	1,5×4	20,7	82	238	215	6,58	29	950	12	Y
200M–6	22	72	4	10	3	14+14	1,25×2	16,3	41	250	160	4,82	21,8	720	18	Y
200L–6	30	72	4	10	3	11+11	1,4×2	17,1	56	250	185	4,82	21,8	770	18	Y
200M–8	18,5	72	3	7	2	11+11	1,4×2	13,5	38,	250	160	4,82	21,8	635	24	Y
200L–8	22	72	3	7	2	9+10	1,5×2	15	45	250	185	4,82	21,8	680	24	Y
H200M–2	55	36	6	11	2	8+8	1,25×7	20,2	100	194	160	7,06	47,3	920	6	Y
H200L–2	75	36	6	11	2	6+7	1,5×6	22	134	194	200	7,06	47,3	1000	6	Y
H200M–4	45	48	4	10	2	8+8	1,4×4	18,4	84	238	170	6,58	29	860	12	Y
H200L–4	55	48	4	10	2	6+7	1,4×5	20,7	101	238	215	6,58,	29	950	12	Y
H200M–6	30	72	4	10	3	12+12	1,32×2	16,3	57	250	160	4,82	21,8	720	18	Y
H200L–6	37	72	4	10	3	9+9	1,25×3	18	69	250	215	4,82	21,8	830	18	Y
H200M–8	22	72	3	7	2	9+9	1,6+1,5	15,4	46	250	185	4,82	21,8	680	24	Y
H200L–8	30	72	3	7	4	13+13	1,32×2	18,7	62	250	260	4,82	21,8	830	24	Y
225M–2	55	36	6	11	2	7+8	1,6×5	23,7	98	208	180	8,32	60,8	1020	6	Y
225M–4	55	48	4	10	4	13+13	1,4×3	21,4	100	264	200	7,86	35	970	12	Y
225M–6	37	72	4	10	2	7+7	1,32×4	21	63	284	175	5,56	24,4	815	18	Y

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* серии 4А, 4АН.
(продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d (a×b)*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*b*	*h*	*l*	*КГ*	сх
225M–8	30	72	3	7	2	8+8	1,5×3	19,4	63	284	175	5,56	24,4	716	24	Y
H225M–2	90	36	6	11	2	6+7	1,7×5	23,8	158	208	180	8,32	60,8	1020	6	Y
H225M–4	75	48	4	10	2	6+6	1,6×5	25,1	137	264	200	7,86	35	970	12	Y
H225M–6	45	72	4	10	3	9+10	1,7+1,6	21,4	84	284	175	5,56	24,4	815	18	Y
H225M–8	37	72	3	7	4	13+14	1,4×2	20,9	75	284	210	5,56	24,4	785	24	Y
250S–2	75	48	8	14	2	4+5	1,8×6	30,9	135	232	190	6,81	68,2	1100	6	Y
250M–2	90	48	8	15	2	4+4	1,4×11	34	157	232	220	6,81	68,2	1170	6	Y
250S–4	75	60	5	12	4	9+9	1,4×5	39,2	134	290	220	7,14	37,5	1060	12	Y
250M–4	90	60	5	12	4	8+8	1,32×6	42,7	159	290	260	7,14	37,5	1140	12	Y
250S–6	45	72	4	10	3	9+9	1,5×3	26,8	83	317	180	6,36	29,4	860	18	Y
250M–6	55	72	4	10	3	8+8	1,32×4	26,8	101	317	200	6,36	29,4	900	18	Y
250S–8	37	72	3	7	4	15+15	1,4×2	22,5	74	317	180	6,36	29,4	755	24	Y
250M–8	45	72	3	7	4	12+13	1,6+1,5	25,7	89	317	220	6,36	29,4	835	24	Y
H250S–2	110	48	8	14	2	4+4	1,4×11	30,9	197	232	190	6,81	68,2	1090	6	Y
H250M–2	132	48	8	15	2	3+4	1,5×11	34	234	232	220	6,81	68,2	1150	6	Y
H250S–4	90	60	5	12	4	9+9	1,8×3	3,7	161	290	220	7,14	37,5	1020	12	Y
H250M–4	П0	60	5	12	4	8+8	1,9×3	39,2	196	290	220	7,14	37,5	1060	12	Y
H250S–6	55	72	4	10	3	8+9	1,32×4	27,3	102	317	180	6,36	29,4	860	18	Y
H250M–6	75	72	4	10	3	6+7	1,25×6	31	137	317	240	636	29,4	1000	18	Y
H250S–8	45	72	3	7	4	12+13	1,25×3	23,6	92	317	200	6,36	29,4	795	24	Y
H250M–8	55	72	3	7	4	10+11	1,4×3	27,3	111	317	240	6,36	29,4	875	24	Y
280S–2	110	48	8	15	2	4+4	2×4	81,6	255	275	175			1500	6	Y
280M–2	132	48	8	15	2	6+6	1,32×4 ×4	84,5	248	275	205			1560	6	△
315S–2	160	48	8	15	2	5+5	1,6×4 ×4	48,4	282	275	270			1690	6	△
315M–2	200	48	8	15	2	4+4	2,12×4 ×4	58,3	351	275	330			1810	6	△
355S–2	250	48	8	15	2	4+4	2,24×4,5 ×4	125	432	310	290			1810	6	△
355M–2	315	48	8	14	2	3+4	1,7×4,5 ×6	129	551	310	360			1900	6	△
H280S–2	160	48	8	14	2	6+7	1,18×4 ×4	69	288	275	185			1380	6	△
H280M–2	200	48	8	13	2	5+6	1,4×4 ×4	73	359	275	230			1430	6	△
H315M–2	250	48	8	14	2	5+5	1,7×43 ×4	97	442	310	210			1530	6	△
H355S2	315	48	8	15	2	4+4	2×4,75 ×4	101	545	345	210			1610	6	△
H355M–2	400	48	8	14	2	3+4	1,6×4,75 ×6	112	685	345	265			1680	6	△
280S–4	110	60	5	11	4	8+8	1×3,55 ×4	78,3	237	335	220			1310	12	Y
280M–4	132	60	5	11	4	12+12	1,32×3,55 ×2	81	234	335	240			1350	12	△
315S–4	160	60	5	11	4	10+10	1,6×3,55 ×2	88	282	335	290			1450	12	△
315M–4	200	60	5	11	4	8+8	1×3,55 ×4	94	351	335	360			1590	12	△
355S–4	250	60	5	11	4	7+7	1,18×4 ×4	115	432	380	360			1640	12	△
355M–4	315	60	5	13	4	5+6	1,5×4 ×4	135	537	380	470			1900	12	△
H280S–4	132	60	5	11	4	13+13	1,06×3,55 ×2	62,5	284	335	205			1270	12	△
H280M–4	160	60	5	11	4	11+11	1,32×3,55 ×2	69,8	291	335	235			1330	12	△
H315S–4	200	60	5	12	4	10+10	1,6×3,55 ×2	79,2	355	380	210			1360	12	△
H315M–4	250	60	5	11	4	9+9	1,3×3,55 ×2	80	448	380	250			1380	12	△
H355S–4	315	60	5	11	4	8+8	2×4 ×2	92	545	435	235			1410	12	△
H355M–4	400	60	5	11	4	6+7	1,18×4 ×4	97	702	435	305			1550	12	△
280S–6	75	72	4	10	3	7+7	1,8×3 ×2	54	138	370	190			1120	18	Y
280M–6	90	72	4	10	6	11+12	1,0×3 ×2	51,5	165	370	225			1190	18	Y
315S–6	110	72	4	10	6	9+10	1,25×3 ×2	57,6	200	370	275			1290	18	Y

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* серии 4А, 4АН.
(продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d (a×b)*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*	сх
315М–6	132	72	4	10	3	7+7	1,8×3 ×2	64,9	270	370	320	1380	18	△
355S–6	160	72	4	9	3	7+7	2×3,55 ×2	83	287	425	295	1320	18	△
355М–6	200	72	4	9	6	11+11	1,25×3,55 ×2	91	358	425	370	1470	18	△
Н280S–6	90	72	4	9	2	7+8	1,8×3 ×2	52	167	370	200	1080	18	△
Н280М–6	110	72	4	10	2	6+7	1,12×3 ×2	56	200	370	230	1190	18	△
Н315S–6	132	72	4	9	3	9+9	1,5×3,55 ×2	69,4	242	425	215	1160	18	△
Н315М–6	160	72	4	9	3	7+8	1,7×3,55 ×2	69,8	293	425	260	1250	18	△
Н355S–6	200	72	4	9	6	15+15	1×3,55 ×2	76,7	355	470	220	1200	18	△
Н355М–6	250	72	4	9	6	12+12	1,25×3,55 ×2	84,8	442	470	275	1310	18	△
280S–8	55	72	3	7	4	12+12	1×3,35 ×2	48,4	108	385	185	960	18	Y
280М–8	75	72	3	7	4	9+9	1,4×3,35 ×2	58,3	143	385	250	1090	24	Y
315S–8	90	72	3	7	4	7+7	1,8×3,35 ×2	64,6	173	385	335	1270	24	Y
315М–8	110	72	3	7	4	6+6	1,0×3,35 ×4	67	209	385	370	1340	24	Y
355 S–8	132	72	3	7	4	10+11	1,25×3,55 ×2	76	254	440	325	1270	24	△
355М–8	160	72	3	7	4	9+9	1,6×3,55 ×2	89,5	301	440	375	1370	24	△
Н280S–8	75	72	3	8	4	8+8	1,6×3,15 ×2	55,4	146	385	240	1120	24	△
Н280М–8	90	72	3	8	4	7+7	1,9×3,15 ×2	59,4	173	385	270	1180	24	△
Н315S–8	110	72	3	7	4	7+7	1,9×3,55 ×2	65,7	208	440	255	1130	24	△
Н315М–8	132	72	3	7	4	12+12	1,06×3,55 ×2	66	250	440	295	1210	24	△
Н355S–8	160	72	3	7	4	11+11	1,25×4,0 ×2	80	291	490	265	1180	24	△
Н355М–8	200	72	3	7	4	9+9	1,6×4 ×2	95,5	377	490	345	1340	24	△
280S–10	37	90	3	8	5	16+16	1,32×3	41,5	79	400	170	790	30	Y
280М–10	45	90	3	8	5	15+15	1,32×3	39,8	95	400	180	810	30	Y
315S–10	55	90	3	8	5	11+11	1,6×3	52,2	114	400	250	980	30	Y
315М–10	75	90	3	8	5	9+9	1,5×4	55,5	150	400	305	1090	30	Y
355S–10	90	90	3	8	5	9+9	1,6×4	66	170	450	295	1100	30	Y
355 М–10	110	90	3	8	5	7+7	1,6×5	73	206	450	355	1260	30	Y
Н280S–10	45	90	3	8	2	10+10	1,25×8	40,8	94	400	200	810	30	△
Н280М–10	55	90	3	8	2	9+9	1,25×6	46,7	114	400	235	880	30	△
Н315S–10	75	90	3	8	2	8+8	1,5×5	44,9	153	450	230	870	30	△
Н315М–10	90	90	3	8	5	17+17	1,32×3	55,2	182	450	270	950	30	△
Н355S–10	110	90	3	7	2	6+6	1,25×3,15 ×4	77,9	219	500	235	1080	30	△
Н355М–10	132	90	3	7	5	13+14	1,06×3,15 ×2	78,5	260	500	270	1150	36	△
315S–12	45	90	2 и 3	6	3	8+8	1,6×4	45,4	99	400	250	890	36	Y
315М–12	55	90	2 и 3	6	6	13+13	1,25×4	51	118	400	305	1000	36	Y
355S–12	75	90	2 и 3	6	6	11+11	1,7×3	63.3	165	450	295	1080	36	Y
355 М–12	90	90	2 и 3	6	6	9+9	1,6×4	71.3	200	450	355	1200	36	Y
Н315S–12	55	90	2 и 3	6	2	10+10	1,5×4	45,7	118	450	230	860	36	△
Н315М–12	75	90	2 и3	6	3	11+11	1,4×4	50,2	160	450	270	940	36	△
Н355S–12	90	90	2 и 3	6	2	7+7	1,06×3,15 ×4	71,7	192	500	235	1010	36	△
Н355М–12	110	90	2 и 3	6	4	12+12	1,25×3,15 ×2	78,3	234	500	270	1080	36	△

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* серии А2, АО2.

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*b*	*h*	*l*	*КГ*	сх
АО2–11–2	0,8	24	2+2	10	1	97	0,63	1,5	1,8	73	52	3,7	16,2	420	6	Y
АО2–12–2	1,1	24	2+2	10	1	78	0,71	1,6	2,4	73	65	3,7	16,2	450	6	Y
АО2–11–4	0,6	24	2	6	1	129	0,56	2	1,6	80	52	5,3	11,9	330	6	Y
АО2–12–4	0,8	24	2	6	1	107	0,63	1,3	2,2	80	65	5,3	11,9	350	6	Y
АО2–11–6	0,4	36	2	6	1	122	0,56	1,5	1,4	80	65	3,6	8	320	9	Y
АО2–12–6	0,6	36	2	6	1	96	0,65	1,7	1,9	80	75	3,6	8	340	9	Y
АО2–21–2	1,5	24	2+2	10	1	69	0,85	2,1	3,2	86	63	4,6	18	480	6	Y
АО2–22–2	2,2	24	2+2	10	1	54	1,0	2,3	4,4	86	90	4,6	18	540	6	Y
АО2–21–4	1,1	24	2	6	1	92	0,75	1,9	2,7	94	70	6	13	390	6	Y
АО2–22–4	1,5	24	2	6	1	71	0,9	2,2	3,5	94	95	6	13	440	6	Y
АО2–21–6	0,8	36	2	6	1	85	0,67	1,8	2,3	98	70	4,4	9,7	330	9	Y
АО2–22–6	1,1	36	2	6	1	65	0,8	2,1	3	98	95	4,4	9,7	380	9	Y
АО2–31–2	3	24	4	8	1	26+26	1,18	3,2	6	106	88	5,1	19,3	520	6	Y
АО2–32–2	4	24	4	8	1	21+21	1,4	3,9	8	106	115	5,1	19,3	580	6	Y
АО2–31–4	2,2	36	3	9	1	43	1,06	3,1	4,9	112	88	5	14,6	530	6	Y
АО2–32–4	3	36	3	9	1	34	1,25	3,7	6,5	112	115	5	14,6	530	6	Y
АО2–31–6	1,5	36	2	6	1	60	1,0	3,4	3,8	122	88	4,7	9,9	420	9	Y
АО2–32–6	2,2	36	2	6	1	46	1,18	4,2	5,3	122	115	4,7	9,9	480	9	Y
АО2–41–2	5,5	24	4	9	1	17+17	1,25×2	7	11	123	110	5,4	21,5	690	6	Y
АО2–42–2	7,5	24	4	9	2	27+27	1,4	7,8	15	123	148	5,4	21,5	776	6	Y
АО2–41–4	4	36	3	9	1	33	1,06×2	5,7	8,3	133	110	5	16	580	6	Y
АО2–42–4	5,5	36	3	9	1	24	1,25×2	6,4	11	133	148	5	16	656	6	Y
АО2–41–6	3	36	2	6	1	41	1,32	5,2	7,2	144	110	5,9	11	496	9	Y
АО2–42–6	4	36	2	6	1	32	1,06×2	5,6	9,2	144	148	5,9	11	572	9	Y
АО2–41–8	2,2	36	1 и 2	4	1	26+26	1,18	4,4	6,1	144	110	5,9	11	420	24	Y
АО2–42–8	3	36	1 и 2	4	1	20+20	0,9×2	5,1	8,1	144	148	5,9	11	496	24	Y
АО2–51–2	10	24	4	9	1	25+25	1,25×2	11,6	18	140	135	6,7	26,7	804	6	Y
АО2–52–2	13	24	4	9	1	20+20	1,5+1,32	12,3	26	140	170	6,7	26,7	804	6	Y
АО2–51–4	7,5	36	3	7	1	13+13	1,4+1,32	83	12	158	135	6,1	19,7	614	12	Y
АО2–52–4	10	36	3	7	1	10+10	1,25×3	8,9	20	158	170	6,1	19,7	684	12	Y
АО2–51–6	5,5	36	2	5	1	15+15	1,18×2	6,1	12	173	135	7,3	13,5	546	18	Y
АО2–52–6	7,5	36	2	5	1	11+11	1,4×2	7,8	16	173	190	7,3	13,5	656	18	Y
АО2–51–8	4	36	1 и 2	4	1	17+17	1,12×2	5,85	10	173	135	7,3	13,5	515	24	Y
АО2–52–8	5,5	36	1 и 2	4	1	13+13	1,25×2	7,1	14	173	190	7,3	13,5	625	24	Y
АО2–62–2	17	36	6	11	2	13+13	1,5+1,4	11,5	33	153	150	6,6	40,9	809	6	Y
АО2–61–4	13	36	3	7	2	19+19	1,25×2	10	25	180	135	8,1	26,5	648	12	Y
АО2–62–4	17	36	3	7	2	15+15	1,4×2	13,2	33	190	165	8,1	26,5	708	12	Y
АО2–61–6	10	54	3	7	2	17+17	1,6	9,7	20	206	150	5,7	16,5	601	18	Y
АО2–62–6	13	54	3	7	2	13+13	1,25×2	10,8	25	206	190	5,7	16,5	681	18	Y
АО2–61–8	7,5	54	2 и 3	6	1	10+10	1,5+1,4	9,6	16	206	150	5,7	16,5	577	24	Y
АО2–62–8	10	54	2 и 3	6	2	15+15	1,18×2	11,2	21	206	190	5,7	16,5	657	24	Y
АО2–71–2	22	36	6	11	2	12+13	1,7+1,6	16,3	53	183	130	7,9	50,3	935	6	Y
АО2–72–2	30	36	6	11	2	9+10	1,6×3	17,8	57	183	165	7,9	50,3	1010	6	Y
АО2–71–4	22	36	3	7	4	25+25	1,18×2	15	42	214	165	10,6	34,2	815	12	Y
АО2–72–4	30	36	3		2	10+10	1,6×3	16,4	55	214	205	10,6	34,2	888	12	Y
АО2–71–6	17	54	3	7	2	12+12	(1,5+1,4)×2	13,8	32	245	169	7,2	21,3	706	18	Y
АО2–72–6	22	54	3	7	2	10+10	1,6×2	15,2	41	245	205	7,2	21,3	786	18	Y

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* серии А2, АО2.
(продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*b*	*h*	*l*	*КГ*	сх
АО2–71–8	13	54	2 и 3	6	2	15+15	1,32×2	13,2	27	245	165	7,2	21,3	664	24	Y
АО2–72–8	17	54	2 и 3	6	2	11+11	1,5×2	14,2	35	245	205	7,2	21,3	744	24	Y
АО2–81–2	40	36	6	11	2	8+9	1,5×5	26,6	75	211	170	8,4	58	1110	6	Y
АО2–82–2	55	36	6	11	2	7+7	1,6×5	27,4	101	211	210	8,4	58	1190	6	Y
АО2–81–4	40	48	4	10	4	15+15	1,6×2	26,1	73	247	190	8,3	38,3	990	12	Y
АО2–82–4	55	48	4	10	4	11+11	1,6×3	30,4	98	247	260	8,3	38,3	1130	12	Y
АО2–81–6	30	72	4	10	2	7+7	1,6×3	23,3	55	285	190	5,8	22,1	840	18	Y
АО2–82–6	40	72	4	10	3	8+8	1,5×3	26,7	73	285	260	5,8	22,1	980	18	Y
АО2–81–8	22	72	3	7	2	9+9	1,4×3	20,2	44	285	190	5,8	22,1	760	24	Y
АО2–82–8	30	72	3	7	2	7+7	1,6×3	24,9	57	285	260	5,8	22,1	900	24	Y
АО2–81–10	17	60	2	5	2	11+11	1,7+1,6	18,5	38	285	190	7,9	20,2	850	30	Y
АО2–82–10	22	60	2	5	5	23+23	1,18×2	21,4	48	285	245	7,9	20,2	850	30	Y
АО2–91–2	75	48	8	15	2	5+5	1,6×8	45,7	127	247	215	7,6	66,5	1300	6	Y
АО2–92–2	100	48	8	15	2	4+4	1,7×9	49,6	180	247	270	7,6	66,5	1410	6	Y
АО2–91–4	75	60	5	12	4	9+9	1,6×4	46,2	134	290	240	7,6	43,3	1170	12	Y
АО2–92–4	100	60	5	12	4	7+7	1,6×5	52	177	290	330	7,6	43,3	1350	12	Y
АО2–9 1–6	55	72	4	10	3	7+7	1,5×4	32,3	98	334	240	7	29	1020	18	Y
АО2–92–6	75	72	4	10	6	11+11	1,4×3	34	133	324	330	7	29	1200	18	Y
АО2–91–8	40	72	3		4	12+12	1,6×2	28,4	75	334	240	7	29	900	24	Y
АО2–92–8	55	72	3		4	9+9	1,9×2	35,6	100	334	330	7	29	1080	24	Y
АО2–91–10	30	60	2	5	2	8+8	1,18×6	23	61	334	270	11	26,6	820	30	Y
АО2–92–10	40	60	2	5	2	6+6	1,5×5	26,2	82	334	330	11	26,6	930	30	Y
А2–61–2	17	36	6	11	2	15+15	1,4×2	11,1	34	153	110	6,5	40,9	730	6	Y
А2–62–2	22	36	6	11	2	13+13	1,5×2	11,8	43	153	135	6,5	40,9	780	6	Y
А2–61–4	13	36	3	7	2	20+20	1,25×2	10,2	26	180	120	8	27	620	12	Y
А2–62–4	17	36	3	7	2	16+16	1,4×2	11,1	33	180	150	8	27	680	12	Y
А2–61–6	10	54	3	7	2	19+19	1,5	8,9	21	206	120	5,5	16,6	540	18	Y
А2–6 2–6	13	54	3	7	2	14+14	1,25×2	10,8	26	206	165	5,5	16,6	630	18	Y
А2–61–8	7,5	54	2 и 3	6	2	22+22	1,4	8,8	18	206	120	5,5	16,6	520	24	Y
А2–62–8	10	54	2 и 3	6	2	16+16	1,18×2	11,2	22	206	165	5,5	16,6	605	24	Y
А2–71–2	30	36	6	11	2	12+12	1,4×3	16,2	57	183	115	7,7	50,3	905	6	Y
А2–72–2	40	36	6	11	2	9+9	1,4×4	17,7	75	183	150	7,7	50,3	975	6	Y
А2–71–4	22	36	3	7	2	15+15	1,5+1 6	13,3	42	214	115	10,3	34,2	715	12	Y
А2–72–4	30	36	3	7	2	11+11	1,5×3	15,7	57	214	165	10,3	37,2	815	12	Y
А2–71–6	17	54	3	7	2	14+14	1,32×2	12,6	43	245	130	7,2	21,3	645	18	Y
А2–72–6	22	54	3	7	2	11+11	1,6+1 5	14,5	58	245	165	7,2	21,3	706	18	Y
А2–71–8	13	54	2 и 3	6	2	16+16	1,25×2	11,6	28	245	130	7,2	21,3	600	24	Y
А2–72–8	17	54	2 и 3	6	2	13+13	1,4×2	13,2	36	245	165	7,2	21,3	664	24	Y
А2–81–2	55	36	6	11	2	9+8	1,5×5	25,1	102	211	140	8,4	58	1044	6	Y
А2–82–2	75	36	6	11	2	6+7	(1,6+1,5)×3	27,3	124	211	190	8,4	58	1144	6	Y
А2–81–4	40	48	4	10	4	17+17	1,6+1,5	24,7	75	247	140	8,2	38,3	890	12	Y
А2–82–4	55	48	4	10	4	13+13	1,25×4	37,2	102	247	190	8,2	38 3	990	12	Y
А2–81–6	30	72	4	10	6	25+25	1,5	21	58	285	140	5,7	22,1	742	18	Y
А2–82–6	40	72	4	10	3	10+10	1,32×3	23,2	75	285	190	5,7	22,1	842	18	Y
А2–81–8	22	72	3	7	4	21+21	1,6	18,3	46	285	140	5,7	22,1	658	24	Y
А2–82–8	30	72	3	7	2	8+8	1,9×2	22,2	60	285	190	5,7	22,1	758	24	Y
А2–81–10	17	60	2	5	2	13+13	1,6+1,5	10,8	39	285	146	8,1	20,2	635	30	Y

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* серии А2, АО2.
(продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*b*	*h*	*l*	*КГ*	сх
А2–82–10	22	60	2	5	2	10+10	1,75×4	19,4	49	285	196	8,1	20,2	735	30	Y
А2–91–2	100	48	8	15	2	4+5	1,7×8	42,7	180	247	170	7,4	66,5	1210	6	Y
А2–92–2	125	48	8	15	2	3+4	1,7×10	44	224	247	215	7,4	66,5	1300	6	Y
А2–91–4	75	60	5	12	4	10+10	1,5×4	39	137	290	170	7,5	43,3	1030	12	Y
А2–92–4	100	60	5	12	4	8+8	1,32×7	45,5	181	290	215	7,5	43,3	1120	12	Y
А2–91–6	55	72	4	10	6	17+17	1,4×2	29,5	102	334	170	7	29	880	18	Y
А2–92–6	75	72	4	10	3	6+6	1,5×5	34,6	138	334	240	7	29	1020	18	Y
А2–91–8	40	72	3	7	4	14+14	1,6+1,5	25,9	80	334	170	7	29	756	24	Y
А2–92–8	55	72	3	7	4	11+11	1,4×3	29,2	104	334	240	7	29	896	24	Y
А2–91–10	30	60	2	5	2	9+9	1,4×4	21,5	63	334	176	10,7	27	725	30	Y
А2–92–10	40	60	2	5	2	7+7	1,8×3	23,3	84	334	221	10,7	27	815	30	Y

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* Y серии Т, СВМ, АСВ, АРЗ.

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*b*	*h*	*КГ*
Т–41–2	2,8	36	6	11	1	21+21	1,06	3,2	5,6	112	78	4,15	13,8	6
Т–41–4	1,7	36	3	9	1	52	1	3,3	4,2	112	78	4,15	13,8	6
Т–41–6	1	36	2	6	1	73	0,8	2,5	3,1	112	78	4,15	13,8	9
Т–42–2	4,5	36	6	11	1	14+14	1,32	3,8	8,9	112	118	4,15	13,8	6
Т–42–4	2,8	36	3	9	1	36	1,25	4,1	6,1	112	118	4,15	13,8	6
Т–42–6	1,7	36	2	6	1	52	1	3,2	4,5	112	118	4,15	13,8	9
Т–51–2	4,5	36	6	10	1	14+14	1,25×2	6,7	9,1	152	94	6	19,8	6
Т–51–4	4,5	36	3	9	1	32	1,18×2	6,5	9,4	152	94	6	19,8	6
Т–51–6	2,8	36	2	6	1	46	1,32	5,5	6,2	152	94	6	19,8	9
Т–52–2	7	36	6	10	1	9+9	1,5×2	8,4	14	152	144	6	19,8	6
Т–52–4	7	36	3	9	1	22	1,4×2	7,8	14	152	144	6	19,8	6
Т–52–6	4,5	36	2	6	1	30	1,12×2	6	10	152	144	6	19,8	9
МД–0–2	1	24	4	9	1	33+33	1,0	3,2	2,2	73	120			6
МД–1–2	2,2	24	4	10	1	20+20	1,25	4	4,6	100	135			6
МД–2–2	3,2	24	4	10	1	14+14	1,1×22	5,7	6,5	100	195			6
МД–3–2	4	24	4	10	1	11+12	1,25×2	6,4	8,1	100	250			6
МД–4–2	5	24	4	9	1	11+12	1,6+1,5	11	12	125	225			6
АСВ–21–4	0,18	24	2	6	1	225	0,32	0,7	0,7	72	35			6
АСВ–22–4	0,4	24	2	6	1	130	0,45	0,8	1,5	72	56			6
АСВ–23–4	0,6	24	2	6	1	95	0,5	0,8	2	72	80			6
АСВ–31–4	1,0	24	2	6	1	98	0,67	1,4	3,5	89	56			6
АСВ–32–4	1,7	24	2	6	1	67	0,85	1,7	5,5	89	84			6
АСВ–40–4	2,8	36	3	9	1	40	1,12	5,2	8	85	112			6
АСВ–41–4	3,5	36	3	9	1	35	1,25	3,7	9	112	100			6
АСВ–42–4	4,5	36	3	9	2	54	1,06×2	4,4	11	112	130			6
СВМ–4М–2	2,2	24	2+2	10	1	48	0,9	3,4	3,7	104	75			6
СВМ–5М–2	5,5	36	6	12	1	12+12	1,25×2	9,9	12	165	100			6
СВМ–6М–2	14	36	6	12	1	7+7	1,9×2	14	27	180	136			6
ВД–2	11	36	6	12	1	8+8	1,25×4	13	18	105	185			6
СВМ–2	7	36	6	13	1	9+9	1,4×2	11		145	165			6
СВМ–2	7	36	6	13	1	11+11	1,32×2	11		145	105			6
СВМ–2	6,5	36	6	12	1	14+14	1,32×2	11		105	105			6

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* Y серии Т, СВМ, АСВ, АРЗ. (продолжение)

Тип	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*КГ*
АРЗ–23–6	36	2	5	1	51+51	0,63	2,4		125	120	18
АРЗ–24–6	36	2	5	1	38+38	0,75	3,3		125	160	18
АРЗ–23–8	36	1,5	4	1	51+51	0,63	2,3	0,9	125	120	24
АРЗ–24–8	36	1,5	4	1	38+38	0,75	3,2	1,3	125	160	24
АРЗ–33–8	48	2	5	1	27+27	1,0	5,4	1,4	170	150	24
АРЗ–34–8	48	2	5	1	20+20	1,25	7,4	1,9	170	200	24
АРЗ–23–10	36	1,2	4	1	51+51	0,63	2,3	1,6	125	120	30
АРЗ–24–10	36	1,2	4	1	38+38	0,75	3,2	2,2	125	160	30
АРЗ–33–10	45	1,5	4	1	25+25	1,0	45	2,8	170	150	30
АРЗ–34–10	45	1,5	4	1	19+19	1,25	6,4	3,7	170	200	30
АРЗ–43–10	45	1,5	4	1	16+16	1,18×2	14	4	225	200	30
АРЗ–44–10	45	1,5	4	1	12+12	1,32×2	12	5,6	225	260	30
АРЗ–33–12	45	1,25	3	1	25+25	1,0	4,2	5	170	150	36
АРЗ–34–12	45	1,25	3	1	19+19	1,25	6	7	170	200	36
АРЗ–43–12	45	1,25	3	1	16+16	1,18×2	9,6	6,5	225	200	36
АРЗ–44–12	45	1,25	3	1	12+12	1,32×2	12	8,9	225	260	36
АРЗ–43–16	48	1	3	1	16+16	1,18×2	10	11	225	200	48
АРЗ–44–16	48	1	3	1	12+12	1,32×2	12	15	225	260	48

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* Y серии А, АО(Л).

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*
АОЛ–12–2	0,27	24	2+2	10	1	135	0,355	0,34	0,7	60	62	392	6
АОЛ–12–4	0,18	24	2	6	1	193	0,335	0,35	0,6	60	62	308	6
АОЛ–21–2	0,4	24	2+2	10	1	112	0,45	0,74	0,98	72	56	410	6
АОЛ–21–4	0,27	24	2	6	1	160	0,355	035	0,83	72	56	316	6
АОЛ–22–2	0,6	24	2+2	10	1	85	0,33	0,9	1,43	72	76	450	6
АОЛ–22–4	0,4	24	2	6	1	125	0,25	0,63	1,14	72	76	356	6
А(О)–31–2	1,0	24	2+2	10	1	74	0,67	1,43	23	82	64	480	6
А(О)–32–2	1,7	24	2+2	10	1	49	0,35	1,66	3,7	82	100	550	6
А(О)–31–4	0,6	24	2	6	1	118	0,36	135	1,6	89	64	360	6
А(О)–32–4	1,0	24	2	6	1	80	0,71	1,6	2,4	89	100	430	6
А(О)–31–6	0,4	36	2	6	1	125	0,33	136	13	89	64	330	9
А(О)–32–6	0,6	36	2	6	1	81	0,71	2,06	1,8	89	100	400	9
А(Л)–41–2	2,8	24	2+2	10	1	47	1,12	3,02	5,8	104	75	580	6
А(Л)42–2	4,5	24	2+2	10	1	31	1,32	3,27	9,1	104	115	660	6
А(О)–41–4	1,7	36	3	9	1	53	0,95	2,98	3,9	112	75	460	6
А(О, Л)–42–4	2,8	36	3	9	1	36	1,18	3,7	6,1	112	115	540	6
А(О, Л)–41–6	1,0	36	2	6	1	76	0,8	2,36	2,8	112	75	390	9
А(О, Л)–42–6	1,7	36	2	6	1	50	1	2,86	4,3	112	115	470	9
А–51–2	7	24	4	9	1	16+16	1,32×2	6,5	13,8	140	90	680	6
АО–51–2	4,5	24	4	9	1	19+19	1,18×2	6,15	9,1	140	90	680	6
А–52–2	10	24	4	9	1	11+11	1,25×3	7,1	19,5	140	140	780	6
АО–52–2	7	24	4	9	1	13+13	1,18×3	7,22	13,8	140	140	780	6
А(О)–51–4	4,5	36	3	9	1	32×2	1,12	6,26	9,4	152	90	590	6
А(О)–52–4	7	36	3	9	1	22×2	1,4	7,82	14,2	152	140	690	6
А(О)–51 –6	2,8	36	2	6	1	47	1,32	5,42	6,6	152	90	480	9

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* Y серии А, АО(Л).
(продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*
А(О)–52–6	4,5	36	2	6	1	31	1,12+1,18	6,4	10,1	152	140	580	9
А–61–2	14	36	6	12	1	9+10	1,4×3	12,1	27,5	180	75	820	6
А–62–2	20	36	6	12	2	14+14	1,4×2	12,5	38	180	100	870	6
А–61–4	10	36	3	7	1	14+14	1,32+1,4	7,6	19,7	200	75	570	12
А–62–4	14	36	3	7	1	10+10	1,6×2	8,45	27,5	200	100	620	12
А–61–6	7	36	2	5	1	18+18	1,18+1,25	6,8	15,5	200	75	500	18
А–62–6	10	36	2	5	1	13+14	1,4+1,5	8,14	21,5	200	100	550	18
А–61–8	4,5	54	2 и 3	6	1	16+16	1,12+1,18	8,43	11	230	80	480	24
А–62–8	4,5	48	2	5	1	18+18	1,18×2	8,94	11	230	80	490	24
А–62–8	7	54	2 и 3	6	1	12+12	1,32+1,4	9,46	16	230	100	530	24
А–62–8	7	48	2	5	2	27+27	1,4	9,95	16	230	100	540	24
АО–62–2	10	36	6	12	2	18+18	1,32×2	14,4	19,5	180	100	870	6
АО–63–2	14	36	6	12	2	14+14	1,4+1,5	14,9	27	180	135	940	6
АО–62–4	10	36	3	7	1	11+11	1,5+1,6	8,9	19,7	200	100	620	12
АО–63–4	14	36	3	7	1	16+16	1,3×2	10,15	27,4	200	135	690	12
АО–62–6	7	36	2	5	1	14+14	1,3+1,4	7,6	15,5	200	100	550	18
АО–63–6	10	36	2	5	2	21+21	1,6	9,14	21	200	135	620	18
АО–62–8	4,5	54	2 и 3	6	1	14+14	1,12+1,18	8,6	10,5	230	100	590	24
АО–62–8	4,5	48	2	5	2	27+27	1,32	9,6	10,5	230	100	540	24
АО–63–8	7	54	2 и 3	6	1	10+10	1,4+1,5	10,74	16	230	135	600	24
АО–63–8	7	48	2	5	1	10+10	1,6×2	11,4	16	230	135	610	24
А–71–2	28	36	6	12	2	12+12	1,4×3	17,3	53	205	100	930	6
А–72–2	40	36	6	12	2	9+9	1,6×3	18,7	74	205	135	1000	6
А–71–4	20	36	3	7	2	17+17	1,4×2	12,7	39	230	100	720	12
А–72–4	28	36	3	7	2	13+13	1,6×2	14	54	230	135	790	12
А–71–6	14	54	3	7	2	17+17	1,18+1,25	12,2	29,6	260	100	620	18
А–72–6	20	54	3	7	3	19+19	1,6	13,7	41,3	260	135	690	18
А–71–8	10	54	2 и 3	6	1	10+10	1,5+1,6	11,43	22	260	100	570	24
А–71–8	10	48	2	5	1	12+12	1,5+1,6	12	22	260	100	560	24
А–72–8	14	54	2 и 3	6	2	15+15	1,25×2	12,2	30	260	135	640	24
А–72–8	14	48	2	5	1	9+9	1,6×3	15,4	30	260	135	630	24
АО–72–2	20	36	6	12	2	11+11	1,4×3	20,2	38	205	135	1000	6
АО–73–2	28	36	6	12	2	9+9	1,4×4	24,3	52	205	185	1100	6
АО–72–4	20	36	3	7	2	14+14	1,5+1,6	14,8	38,8	230	135	790	12
АО–73–4	28	36	3	7	2	10+10	1,6×3	17,9	53,8	230	185	890	12
АО–72–6	14	54	3	7	3	20+20	1,4	13,7	29	280	135	690	18
АО–73–6	20	54	3	7	2	10+10	1,6+1,7	17,1	41	260	185	790	18
АО–72–8	10	54	2 и 3	6	2	16+16	1,12×2	10,88	22	260	135	640	24
АО–72–8	10	48	2	5	2	19+19	1,18+1,25	13	22	260	135	630	24
АО–73–8	14	54	2 и 3	5	2	12+12	1,3+1,4	13,6	30,3	260	185	740	24
АО–73–8	14	48	2	5	1	7+7	(1,4+1,5)×2	15,8	30	260	185	730	24
А–81–2	55	36	6	13	2	8+8	1,6×5	34,6	101	240	130	1250	6
А–82–2	75	36	6	13	2	6+6	1,7×6	36,2	136	240	180	1350	6
А–81–4	40	48	4	10	2	8+8	1,4×4	25,2	76	265	76	980	12
А–82–4	55	48	4	10	4	12+12	1,5×3	29	103	265	180	1080	12
А–81–6	28	72	4	10	2	8+8	1,4×3	23,2	564	300	130	850	18
А–82–6	40	72	4	10	3	9+9	1,4×3	24,3	79,8	300	180	950	18

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* Y серии А, АО(Л). (продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*
А–81–8	20	72	3	7	2	11+11	1,5+1,6	21	42	300	130	720	24
А–82–8	28	72	3	7	2	8+8	1,5×3	22,8	58	300	180	820	24
АО–82–2	40	36	6	13	2	7+7	1,7×5	36,1	75	240	180	1350	6
АО–83–2	55	36	6	13	2	5+6	1,8×6	40,3	100	240	250	1490	6
АО–82–4	40	48	4	10	2	7+7	1,7×4	314	75	265	180	1080	12
АО–83–4	55	48	4	10	4	10+10	1,6×3	35	103	265	250	1220	12
АО–82–6	28	72	4	10	2	7+7	1,6×3	27	554	300	180	950	18
АО–83–6	40	72	4	10	3	7+7	1,6×3	30,8	77,5	300	250	1090	18
АО–82–8	20	72	3	7	2	9+9	1,32×3	23	42	300	180	820	24
АО–83–8	28	72	3	7	4	13+13	1,3+1,4	25,2	57,5	300	250	960	24
А–91–2	100	48	8	16	2	4+5	1,9×7	57,9	180	285	160	1480	6
А–92–2	125	48	8	16	2	3+4	1,9×10	69,9	225	285	220	160	6
А–91–4	75	60	5	13	4	10+10	1,7×3	43,8	140	315	160	1170	12
А–92–4	100	60	5	13	4	8+8	1,7×4	51,4	185	315	220	1290	12
А–91–6	55	72	4	10	6	17+17	1,4+1,5	35,5	106	350	160	950	18
А–92–6	75	72	4	10	6	13+13	1,7×2	41,6	141	350	220	1070	18
А–91–8	40	72	3	7	4	15+15	1,5+1,6	31,2	81	350	160	820	24
А–92–8	55	72	3	7	4	11+11	1,5×3	37,7	109	350	220	940	24
АО–93–2	75	48	8	17	2	4+4	1,9×8	67,8	136	285	250	1660	6
АО–94–2	100	48	8	17	2	3+4	2,0×9	78	182	285	320	1800	6
АО–93–4	75	60	5	13	4	8+8	1,7×4	55,5	138	315	250	1350	12
АО–94–4	100	60	5	13	4	6+6	1,6×6	64,4	184	315	320	1490	12
АО–93–6	55	72	4	10	6	13+13	1,7×2	46,2	104	350	250	1130	18
АО–94–6	75	72	4	10	6	10+10	1,6×3	51,2	139	350	320	1270	18
АО–93–8	40	72	3	7	4	11+11	1,5×3	38,8	80	350	250	1000	24
АО–94–8	55	72	3	7	4	8+9	1,7×3	45,6	108	350	320	1140	24

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* серии А, АЗ, АОЗ.

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d (a×b)*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*	сх
А–101–2	160	48	8	13	2	6+6	3,8×3,05 ×2	88	291	305	220		6	△
А–102–2	290	48	8	13	2	5+5	3,8×1,81 ×4	95	355	305	275		6	△
А–103–2	250	48	8	13	2	4+4	3,8×2,26 ×4	100	440	305	340		6	△
А–101–4(к)	125	60	5	12	4	7+7	3,05×2,26 ×2	70	227	365	220		12	Y
А–102–4(к)	160	60	5	12	2	5+5	3,05×3,28 ×2	80	291	365	275		12	△
А–103–4(к)	200	60	5	12	2	4+4	3,05×4,4 ×2	95	357	365	340		12	△
А–101–6	100	72	4	9	2	4+4	2,83×3,53 ×2	59	184	410	220		18	Y
А–102–6	125	72	4	11	2	3+3	2,83×2,26 ×4	66	228	410	275		18	Y
А–103–6	160	72	4	11	3	6+7	2,83×2,1 ×2	72	286	410	340		18	△
А–104–6	200	72	4	10	2	2+2	2,83×3,53 ×4	84	357	410	440		18	Y
А–101–8	75	72	3	8	2	5+5	3,05×3,28 ×2	72	145	430	220		24	Y
А–102–8	100	72	3	8	4	8+8	3,05×1,95 ×2	82	191	430	275		24	Y
А–103–8	125	72	3	9	4	6+7	3,05×2,24 ×2	89	236	430	340		24	Y
А–104–8	160	72	3	8	4	5+5	3,05×3,28 ×2	106	302	430	440		24	Y
А–101–10	55	90	3	9	2	5+5	3,63×3,05 ×2	73	114	445	220		30	Y
А–102–10	75	90	3	9	2	4+4	2,63×3,8 ×2	81	155	445	275		30	Y
А–103–10	100	90	3	7	5	8+9	2,63×1,68 ×2	74	202	445	340		30	Y

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* серии А, А3, АО3.
(продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d (a+b)*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*	сх
А–112–2	320	48	8	14	2	3+4	4,7×2,26 ×2	108	562	390	275		6	△
А–111–4(к)	250	60	5	11	4	9+9	4,1×2,1 ×2	126	456	470	220		12	△
А–112–4 (к)	320	60	5	13	4	7+7	4,1×2,63 ×2	139	575	470	275		12	△
А–113–4 (к)	400	60	5	12	4	8+8	4,1×2,44 ×2	151	538	470	340		12	△
А–113–6	250	72	4	10	6	6+7	4,4×2,26 ×2	133	450	525	340		18	Y
А–114–6	320	72	4	10	3	4+5	4,4×3,53 ×2	164	568	525	440		18	△
А–113–8	200	72	3	8	4	5+5	4,1×1,45 ×4	110	364	550	340		24	Y
А–114–8	250	72	3	8	4	4+4	4,1×1,81 ×4	125	452	550	440		24	Y
А–112–10	125	90	3	8	2	3+3	2,63×3,28 ×4	102	237	550	275		30	Y
А–113–10	160	90	3	8	5	6+6	2,63×3,28 ×2	113	304	550	340		30	Y
А–114–10	200	90	3	8	5	5+5	2,63×3,8 ×2	126	373	550	440		30	V
А3–315S–2	160	48	8	14	2	6+6	1,15×3,8 ×4	69,5	288	275	195	725	6	△
А3–315М–2	200	48	8	14	2	5+5	1,45×3,8 ×4	74,6	358	275	250	755	6	△
А3–315S–4	132	60	5	12	4	13+13	1,06×3,53 ×2	68	243	395	180	640	12	△
А3–315S–4	160	60	5	11	4	10+10	1,35×3,53 ×2	87	291	335	235	665	12	△
А3–315М–4	200	60	5	11	4	9+9	1,68×3,53 ×2	79,5	356	335	290	720	12	△
А3–315S–6	110	72	4	10	6	12+12	1×3,05 ×2	51	208	370	210	575	18	△
А3–315М–6	132	72	4	10	3	8+8	1,55×3,05 ×2	59	248	370	260	625	18	△
А3–315S–8	90	72	3	8	4	5+5	1,25×3,28 ×2	53	176	385	210	530	24	Y
А3–315М–8	110	72	3	8	4	7+7	1,68×3,28 ×2	63,5	215	385	315	645	24	Y
А3–315S–10	55	90	3	8	5	5+5	1,5×8	54,8	113	400	220	48	30	Y
А3–315М–10	75	90	3	8	2	9+9	1,56×4	60	150	400	300	545	30	Y
АО3–315S–2	160	48	8	15	2	5+5	1,6×4 ×4	89,8	292	275	270	1640	6	△
АО3–315М–2	200	48	8	15	2	4+4	2,12×4 ×4	101	365	275	330	1760	6	△
АО3–315S–4	160	60	5	И	4	10+10	1,6×3,55 ×2	87	283	335	290	1450	12	△
АО3–315М–4	200	60	5	12	4	8+8	1,0×3,55 ×4	93,6	372	335	360	1590	12	△
АО3–315S–6	110	72	4	10	6	9+10	1,25×3 ×2	57,6	235	370	275	1290	18	Y
АО3–315М–6	132	72	4	10	3	7+7	1,8×3 ×2	64,8	252	370	320	1380	18	Y
АО3–315S–8	90	72	3	7	4	7+8	1,6×3,55 ×2	61,6	174	385	300	1200	24	Y
АО3–315М–8	110	72	3	7	4	6+6	1,0×3,55 ×4	67	212	385	370	1340	24	Y
АО3–315S–10	55	90	3	8	5	11+11	1,62×3	58,5	114	400	250	930	30	Y
АО3–315М10	75	90	3	8	5	9+9	1,56×2	63,6	150	400	305	1090	30	Y
АО3–355S–2	250	48	8	15	2	4+4	2,24×4,5 ×4	130	422	310	290	1810	6	△
АО3–355М–2	315	48	8	14	2	3+4	1,7×4,5 ×6	135	543	310	360	1900	6	△
АО3–355S–4	250	60	5	11	4	7+7	1,18×4	160	432	380	360	1900	12	△
АО3–355М–4	315	60	5	13	4	5+6	1,5×4	140	542	380	470	1640	12	△
АО3–355S–6	160	72	4	9	3	7+7	2×3,55 ×2	87	285	425	295	1320	18	△
АО3–355М–6	200	72	4	9	6	11+11	1,25×3,55 ×2	95	375	425	340	1470	18	△
АО3–355S–8	132	72	3	7	4	10+10	1,25×3,55 ×2	82	242	440	325	1270	24	△
АО3–355М–8	160	72	3	7	4	9+9	1,6×3,55 ×2	95	268	440	375	1370	24	△
АО3–355S–10	90	90	3	7	5	9+9	1,62×4	71,9	178	450	295	1095	30	Y
АО3–355М–10	110	90	3	8	5	7+7	1,62×5	81,6	217	450	355	1260	30	Y
АО3–355S–12	75	90	2 и 3	6	6	11+11	1,68×3	63,3	162	450	295	1080	36	Y
АО3–355М–12	90	90	2 и 3	6	6	9+9	1,62×4	71,3	193	450	355	1200	36	Y

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* серии ВАО.

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*b*	*h*	*l*	*КГ*	сх
ВАО–01–2	0,4	24	2+2	10	1	130	0,4	0,7	1	60	48	3,3	18	380	6	Y
ВАО–02–2	0,6	24	2+2	10	1	107	0,47	0,8	1,5	60	60	3,3	18	404	6	Y
ВАО–01–4	0,27	24	2	6	1	185	0,4	0,8	1	72	48	4,6	11	304	6	Y
ВАО–02–4	0,4	24	2	6	1	146	0,4	0,9	1,3	72	60	4,6	11	328	6	Y
ВАО–11–2	0,8	24	2+2	10	1	86	0,63	1,4	1,9	73	60	3,7	16,2	444	6	Y
ВАО–12–2	1,1	24	2+2	10	1	70	0,71	1,5	2,5	73	75	3,7	16,2	474	6	Y
ВАО–11–4	0,6	24	2	6	1	115	0,6	1,3	1,9	80	60	5,3	11,9	354	6	Y
ВАО–12–4	0,8	24	2	6	1	96	0,65	1,4	2,5	80	75	5,3	11,9	384	6	Y
ВАО–11–6	0,4	24	2	6	1	116	0,56	1,5	1,5	80	65	3,6	8	334	9	Y
ВАО–12–6	0,6	24	2	6	1	96	0,63	1,9	2,2	80	75	3,6	8	354	9	Y
ВАО–21–2	1,5	24	2+2	10	1	70	0,85	2,2	3,4	86	63	4,6	18	513	6	Y
ВАО–22–2	2,2	24	2+2	10	1	52	1	2,4	4,8	86	90	4,6	18	567	6	Y
ВАО–21–4	1,1	24	2	6	1	88	0,75	1,7	2,9	94	70	6	13	426	6	Y
ВАО–22–4	1,5	24	2	6	1	61	0,9	2,2	3,7	94	95	6	13	476	6	Y
ВАО–21–6	0,8	36	2	6	1	84	0,67	1,9	2,5	98	70	4,4	9,7	396	9	Y
ВАО–22–6	1,1	36	2	6	1	63	0,8	2,3	3,4	98	95	4,4	9,7	446	9	Y
ВАО–31–2	3	24	4	8	1	25+25	1,18	3,3	6,5	106	88	5,1	19,3	553	6	Y
ВАО–32–2	4	24	4	8	1	20+20	1,32	3,4	8,5	106	115	5,1	19,3	607	6	Y
ВАО–31–4	2,2	36	3	9	1	43	1,06	2,8	5	112	88	5	14,6	496	6	Y
ВАО–32–4	3	36	3	9	1	35	1,12	3,1	7	112	115	5	14,6	550	6	Y
ВАО–31–6	1,5	36	2	6	1	61	I	3,2	43	122	88	4,7	9,9	434	9	Y
ВАО–32–6	2,2	36	2	6	1	46	1,12	4,2	6	122	115	4,7	9,9	488	9	Y
ВАО–41–2	5,5	24	4	9	1	17+17	1,7	6,3	12	123	110	5,4	21,5	690	6	Y
ВАО–42–2	7,5	24	4	9	1	14+14	1,32×2	6,9	15	123	150	5,4	21,5	770	6	Y
ВАО–41–4	4	36	3	9	1	34	1,4	5,5	9	133	110	5	16	616	6	Y
ВАО–42–4	5,5	36	3	9	1	25	1,32+1,25	6,5	12	133	150	5	16	696	6	Y
ВАО–41–6	3	36	2	6	1	43	1,32	5,1	8	144	110	5,9	11	527	9	Y
ВАО–42–6	4	36	2	6	1	31	1,5	6,1	10	144	150	5,9	11	607	9	Y
ВАО–41–8	2,2	36	1 и 2	4	1	27+27	1,12	4,4	7	144	110	5,9	11	457	24	Y
ВАО–42–8	3	36	1 и 2	4	1	20+20	1,32	4,9	9	144	150	5,9	11	537	24	Y
ВАО–51–2	10	24	4	9	1	12+12	1,25×4	12	20	140	135	6,7	26,7	840	6	Y
ВАО–52–2	13	24	4	9	1	10+10	1,32×4	13	26	140	170	6,7	26,7	910	6	Y
ВАО–51–4	7,5	36	3	7	1	13+13	1,32+1,4	8,1	16	158	135	6,1	19,7	610	12	Y
ВАО–52–4	10	36	3	7	1	10+10	1,25×3	8,7	20	158	170	6,1	19,7	700	12	Y
ВАО–51–6	5,5	36	2	5	1	16+15	1,06+1,25	6,2	13	173	135	7,3	13,5	512	18	Y
ВАО–52–6	7,5	36	2	5	1	11+11	1,32+1,4	7,7	17	173	190	7,3	13,5	682	18	Y
ВАО–51–8	4	36	1 и 2	4	1	18+18	1,5	5,9	11	173	135	7,3	13,5	529	24	Y
ВАО–52–8	5,5	36	1 и 2	4	1	13+13	1,25×2	7,4	15	173	190	7,3	13,5	640	24	Y
ВАО–62–2	17	36	6	11	1	6+7	1,5×3	11	33	153	165	6,6	40,9	870	6	Y
ВАО–61–4	13	36	3	7	1	8+9	1,32×3	9,2	26	180	150	8,1	26,5	710	12	Y
ВАО–62–4	17	36	3	7	1	7+7	1,5×3	11	34	180	210	8,1	26,5	830	12	Y
ВАО–61–6	10	54	3	7	1	8+8	1,5+1,4	9,1	21	206	150	5,7	16,5	650	18	Y
ВАО–62–6	13	54	3	7	1	6+6	1,6×2	9,7	27	206	210	5,7	16,5	770	18	Y
ВАО–61–8	7,5	54	2 и 3	6	1	9+10	1,4+1,32	8,7	19	206	150	5,7	16,5	630	24	Y
ВАО–62–8	10	54	2 и 3	6	1	7+7	1,5×2	9,6	24	206	210	5,7	16,5	750	24	Y
ВАО–71–2	22	36	6	11	1	10+10	1,7×2	16,2	24	183	145	7,9	50,3	908	6	△
ВАО–72–2	30	36	6	11	1	8+8	1,5×3	17,7	33	183	190	7,9	50,3	998	6	△
ВАО–71–4	22	36	7	7	1	10+10	1,7×2	13,3	25	214	190	10,6	34,2	862	12	△

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* серии ВАО (продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d (a×b)*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*b*	*h*	*l*	*КГ*	сх
ВАО–72–4	30	36	3	7	1	8+8	1,6×3	15,7	40	214	250	10,6	34,2	982	12	△
ВАО–71–6	17	54	3	7	1	9+9	1,5+1,4	12,6	21	245	190	7,2	21,3	780	18	△
ВАО–72–6	22	54	3	7	2	15+15	1,6	14,5	25	245	250	7,2	21,3	900	18	△
ВАО–71–8	13	54	2 и 3	6	1	11+11	1,32×2	11,6	18	245	190	7,2	21,4	756	24	△
ВАО–72–8	17	54	2 и 3	6	2	17+17	1,5	13,2	22	245	250	7,2	21,3	876	24	△
ВАО–81–2	40	36	6	11	2	13+13	1,7×2	25,1	45	211	200	8,4	58	1104	6	△
ВАО–82–2	55	36	6	11	2	10+10	1 9×2	27 1	62	211	250	8,4	58	1204	6	△
ВАО–81–4	40	48	4	10	2	11+11	1,7×2	24,7	45	247	210	8,3	38,3	1000	12	△
ВАО–82–4	55	48	4	10	2	8+9	1,6×3	27,2	61	247	280	8,3	38,3	1140	12	△
ВАО–81–6	30	72	4	10	1	5+6	1,6×3	21	35	285	210	5,8	22,1	900	18	△
ВАО–82–6	40	72	4	10	2	8+9	1,6+1,5	23,2	46	285	280	5,8	22,1	1040	18	△
ВАО–81–8	22	72	3	7	1	7+7	1,4×3	18,3	28	285	210	5,8	22,1	800	24	△
ВАО–82–8	30	72	3	7	2	10+11	1,4×2	22,2	38	285	280	5,8	22,1	940	24	△
ВАО–91–2	75	36	6	11	1	5+5	3,05×6,4		84	247	220			1330	6	△
ВАО–92–2	100	36	6	11	1	4+4	3,8×6,4		110	247	275			1440	6	△
ВАО–91–4	75	48	4	10	1	4+5	3,28×6,4		54		240			1250	12	△
ВАО–92–4	100	48	4	10	2	6+7	2,1×6,4		113	290	240			1430	12	△
ВАО–91–6	55	72	4	10	1	4+4	2,83×5,5		63	334	240			1170	18	△
ВАО–92–6	75	72	4	10	1	3+3	3,8×5,5		86	434	330			1350	18	△
ВАО–91–8	40	72	3	7	1	5+5	2,1×5,9		51	334	240			1030	24	△
ВАО–92–8	55	72	3	7	1	4+4	2,83×5,5		67	334	330			1210	24	△
(101)315S–2	132	48	8	13	2	6+6	3,05×6,9		241	290	270			1460	6	△
(102)315M–2	160	48	8	13	2	5+5	3,8×6,9		288	290	335			1600	6	△
(101)315S–4	132	60	5	12	2	5+5	2,83×5,9		212	340	300			1350	12	△
(102)315M–4	160	60	5	12	2	4+4	3,58×5,9		291	340	375			1510	12	△
(101)315S–6	110	72	4	10	2	5+5	2,83×5,9		206	360	300			1250	18	△
(102)315M–6	132	72	4	10	2	4+5	3,53×5,9		244	360	375			1400	18	△
(100)315L–8	75	72	3	7	2	8+8	1,95×5,9	51,8	149	370	260			1030	24	△
(101)315S–8	90	72	3	7	2	7+7	2,25×5,9	66	177	370	300			1110	24	△
(102)315M–8	110	72	3	7	2	5+6	3,05×5,9	80,5	217	370	375			1260	24	△
(101)315S–10	55	72	1,4	6	2	8+8	1,95×5,4	60	128	370	300			1070	30	△
(102)315M–10	75	72	1,4	6	2	6+7	2,44×5,9	78	168	370	375			1220	30	△
(111)315M–2	200	48	8	14	2	4+4	2,63×6,9 ×2	107	364	320	335			1700	6	△
(112)315L–2	250	48	8	13	2	6+6	1,68×6,9 ×2	109	270	320	415	660 *в*		1800	6	△
(111)355M–4	200	60	5	12	4	8+8	2,44×6,9	130	365	380	350	660 *в*		1560	12	△
(112)355L–4	250	60	5	11	4	7+7	2,83×6,9	123	450	380	430			1670	12	△
(111)355M–6	160	72	4	10	3	6+7	2,83×6,9	116	297	405	350			1410	18	△
(112)355L–6	200	72	4	10	3	5+6	3,53×6,9	137	365	405	430			1570	18	△
(111)355M–8	132	72	3	7	2	5+6	3,28×6,9	101	250	430	350			1250	24	△
(112)355L–8	160	72	3	7	2	4+5	4,1×6,9	116	303	430	430			1410	24	△
(110)355M–10	90	72	2,4	6	2	7+7	2,44×6,9	84	190	430	300			1100	30	△
(111)355M–10	110	72	2,4	6	2	6+6	3,05×6,9	99	230	430	350			1200	30	△
(112)355L–10	132	72	2,4	6	2	5+5	3,55×6,9	110	272	430	430	660 *в*		1370	30	△
(121)450S–2	320	48	8	14	2	5+5	2,25×6,9 ×2	134	327	360	450	660 *в*		2000	6	△
(121)450S4	320	60	5	12	4	9+9	2,25×6,9	140	335	430	470			1860	12	△
(121)450S–6	250	72	4	10	2	5+5	3,8×6,9 ×2	158	260	460	470	660 *в*		1690	18	△
(122)450M–6	320	72	4	10	3	6+7	105×6,9 ×3	171	330	460	590	600 *в*		1930	18	△
(121)450M–8	250	72	3	7	4	6+6	3,05×6,9	144	269	480	590			1760	24	△

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* серии ВАО. (продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d (a×b)*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*b*	*h*	*l*	*КГ*	сх
(122)450S–8	200	72	3	7	4	7+8	2,44×6,9	124	374	480	470			1520	24	△
(121)450S–10	160	72	2,4	6	2	8+8	2,26×6,9 ×2	118	340	480	470			1460	30	△
(122)450M–10	200	72	2,4	6	2	6+8	2,63×6,9 ×2	140	402	480	590			1700	30	△

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* серии ВР.

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*
ВР–63А–2	0,37	24	2+2	10	1	225	0,38	1,75	6,4	59	55	415	6
ВР–63В–2	0,55	24	2+2	10	1	165	0,45	1,27		59	75	455	6
ВР–63А–4	0,25	24	2	6	1	340	0,315	0,8		63	55	280	6
ВР–63В–4	0,37	24	2	6	1	269	0,355	0,92		63	75	320	6
ВР–71А–2	0,75	24	2+2	10	1	156	0,45	1,45		66	70	445	6
ВР–71В–2	1,1	24	2+2	10	1	128	0,53	1,49		66	85	475	6
ВР–71А–4	0,55	24	2	6	1	228	0,425	1,11		72	70	332	6
ВР–71В–4	0,75	24	2	6	1	182	0,475	1,27		72	85	362	6
ВР–71А–6	0,37	36	2	6	1	205	0,38	1,12		78	70	390	9
ВР–71В–6	0,55	36	2	6	1	176	0,425	1,24		78	85	320	9
ВР–80А–2	1,5	24	4	9	1	60+60	0,63	2,06		76	80	480	6
ВР–80В–2	2,2	24	4	9	1	45+45	0,75	2,32		76	110	540	6
ВР–80А–4	1,1	24	2	6	1	170	0,56	1,69		83	80	378	6
ВР–80В–4	1,5	24	2	6	1	130	0,63	2,07		83	110	438	6
ВР–80А–6	0,75	36	2	6	1	144	0,475	1,37		90	80	328	9
ВР–80В–6	1,1	36	2	6	1	110	0,53	1,57		90	110	388	9
ВР–90L–2	3	24	2+2	10	1	71	0,9	2,81	6,4	88	115		6
ВР–90L–4	2,2	24	2	6	1	97	0,8	2,53	5,2	94	115		6
ВР–90L–6	1,5	36	2	6	1	95	0,71	2,56	4,2	98	115		9
ВР–100S–2	4	24	2+2	10	1	62	1,12	4,17	8,3	98	115		6
ВР–100L–2	5,5	24	2+2	10	1	50	1,25	4,45	11,2	98	140		6
ВР–100S–4	3	36	3	9	1	64	0,95	3,76	6,9	108	110		6
ВР–100L–4	4	36	3	9	1	50	1,06	3,97	8,9	108	135		6
ВР–100L–6	2,2	36	2	6	1	72	0,85	3,21	5,8	105	135		9
ВР–112М–2	7,5	24	2+2	10	1	43	1,06×2	6,5	14,2	106	150	774	6
ВР–112М–4	5,5	36	3	9	1	42	1,26	5,1	11,6	120	150	596	6
ВР–112МА–6	3	36	2	6	1	70	0,9	3,4	7,1	132	110	455	9
ВР–112МВ–6	4	36	2	6	1	52	1,06	4,1	9,3	132	150	509	9
ВР–112МВ–8	3	36	1 и 2	4	1	33+33	0,9	3,5	8,1	132	150	535	24
ВР–132М–2	11	24	4	8	1	39+39	1,32	9	20,7	131	150	776	6
ВР–132S–4	7,5	36	3	9	1	35×3	0,9	7,2	15	148	145	650	6
ВР–132М–4	11	36	3	9	1	26×2	1,25	7,6	22,2	148	180	720	6
ВР–132S–6	5,5	36	2	6	1	46	1,4	6,8	11,9	162	145	578	9
ВР–132М–6	7,5	36	2	6	1	36	0,9×3	7,1	16,1	162	180	648	9
ВР–132S–8	4	36	1 и 2	4	1	28+28	0,85×2	5,8	10	162	145	546	24
ВР–132М–8	5,5	36	1 и 2	4	1	23+23	0,95×2	6,7	13,8	162	180	616	24
ВР–160S–2	15	36	6	11	2	25+25	1,18×2	15,1	17	160	140	840	6
ВР–160М–2	18,5	36	6	11	2	21+21	1,25×2	15,3	20	160	170	900	6
ВР–160S–4	15	36	3	7	1	13+13	1,25×3	11,3	18	180	150	710	12
ВР–160М–4	18,5	36	3	7	2	22+22	1,18×2	12,6	21	180	190	790	12
ВР–160S–6	11	54	3	7	2	24+24	1,32	11,5	13	206	180	710	18

Данные трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* серии ВР (продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*
ВР–160М–6	15	54	3	7	1	9+10	1,2×3	14	18	206	230	810	18
ВР–160S–8	7,5	54	2 и 3	6	2	24+24	1,25	12	10	206	180	690	24
ВР–160М–8	11	54	2 и 3	6	2	22+22	1,4	13,2	15	206	230	790	24
ВР–180S–2	22	36	6	11	2	19+19	1,12×3	16,8	24	178	150	910	6
ВР–180М–2	30	36	6	11	2	15+16	1,25×3	18,6	32	178	190	990	6
ВР–180S–4	22	48	4	10	2	16+16	1,32×2	16	25	205	165	828	12
ВР–180М–4	30	48	4	10	2	12+12	1,25×3	18,2	33	205	220	938	12
ВР–180М–6	18,5	54	2	7	3	24+25	1,5	17,8	22	210	230	830	18
ВР–180М–8	15	54	2 и 3	6	2	19+19	1,18×2	16,6	20	210	230	806	24

Данные взрывозащищенных трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* Y серии МА.

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d (a×b)*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*
МА142–1–4	5,5	36	3	9	1	25	1,8	7	11,5	150	130	670	6
МА142–2–4	8	36	3	9	1	17	1,5×2	8	16,4	150	190	790	6
МА142–1–6	3,8	36	2	6	1	35	1,6	7	8,8	160	130	585	9
МА142–2–6	5,5	36	2	6	1	24	1,9	8	12,5	160	190	705	9
МА142–1–8	2,7	48	2	6	1	34	1,5	7	7,3	160	130	545	12
МА142–2–8	4	48	2	6	1	24	1,7	8	10,5	160	190	665	12
МА143–1–4	11,4	36	3	9	1	17	1,6×3	13	23	210	135	760	6
МА143–2–4	16	36	3	9	2	24	1,6×2	15	31,7	210	190	870	6
МА143–1–6	8	36	2	6	1	24	1,7×2	12	17,5	225	135	665	9
МА143–2–6	11	36	2	6	1	17	1,7×3	14	23,7	225	190	775	9
МА143–1–8	6,5	48	2	6	1	22	1,4×2	11	15,4	235	135	615	12
МА143–2–8	8,5	48	2	6	1	16	1,8×2	19	19,7	235	190	725	12
МА144–1–4	21,5	48	4	12	2	16	1,8 ×28	16	42,5	260	160	865	12
МА144–2–4	29	48	4	12	2	12	1,7×3	19	56	260	220	985	6
МА144–1–6	16,5	54	3	9	1	10	1,7×4	16	34,5	280	160	760	9
МА144–2–6	21,5	54	3	9	3	22	1,5×2	18	44,5	280	220	880	9
МА144–1–8	11	48	4	6	1	15	1,6×3	14	25,4	300	160	705	12
МА144–2–8	15	48	4	6	1	21	1,6×2	16	34,2	300	220	825	12
МА145–1–4	40	48	4	10	2	6+7	5,9×1,25	25	77 4	300	180	1085	12
МА145–2–4	53	48	4	10	2	5+5	5,9×1,68	27	101	300	230	1165	12
МА146–1–4	72	48	4	10	2	4+4	6,4×2,44	36	145	340	220	1200	12
МА146–2–4	95	48	4	10	4	6+7	6,4×1,56	40	185	340	280	1320	12
МА202–1–4	13	36	3	9	1	18	2	5,7	26	180	115		6
МА202–2–4	17	36	3	9	1	15	1,6×2	8,7	33,2	180	145		6
МА202–1–6	9,1	54	3	9	1	16	1,9	7 1	19,7	198	115		9
МА202–2–6	11,8	54	3	9	1	13	1,5×2	7,6	25	198	145		9
МА202–1–8	6	48	2	6	1	26	1,8	5,8	13,8	208	115		12
МА202–2–8	8	48	2	6	1	21	2	6,1	18,3	208	145		12
МА203–1–4	22	48	4	12	1	10	1,8×2	9	42,7	200	132		6
МА203–2–4	28,5	48	4	12	1	8	1,8×3	7,7	55	200	165		6
МА203–1–6	15,2	36	2	6	2	8	1,6×2	7,9	32	220	135		9
МА203–2–6	19,7	36	2	6	2	29	2	6,8	40,5	220	165		9
МА203–1–8	11	48	2	6	2	18	1,5×2	7,4	24,2	235	132		12
МА203–2–8	14	48	2	6	2	29	1,8	6,3	40	235	163		12
МА204–1–4	37	48	4	12	2	16	1,6×2	11,8	70,3	245	135		6

Данные взрывозащищенных трехфазных электродвигателей напряжением 380 *в* Y серии МА (продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*КГ*
МА204–2–4	48	48	4	12	2	13	2,0×2	15	91	245	165	6
МА204–1–6	25,5	54	3	9	3	28	1,6	10,4	52,2	270	135	9
МА204–2–6	32	54	3	9	3	23	1,9	12,5	64	270	165	9
МА204–1–8	18,1	72	3	9	1	10	1,8×2	12	38,2	280	135	12
МА204–2–8	23,5	72	3	9	2	16	1,6×2	15,2	49,2	280	165	12
МА811–4	29	48	4	12	1	10	1,9×3	14	55			6
МА812–4	34	48	4	12	2	17	1,7×3	14	64			6
МА813–4	40	48	4	12	2	15	1,9×2	15	74			6
МА821–4	46,5	48	4	12	2	13	2,0×3	15	85,5			6
МА811–6	20,5	54	3	9	1	12	1,9×2	11	42			9
МА812–6	24,5	54	3	9	3	30	1,7	12	49			9
МА813–6	29	54	3	9	3	26	1,8	13	58			9
МА821–6	32	54	3	9	3	23	1,9	13	64			9
МА812–8	16	72	3	7	2	11+11	1,8	11	34			24
МА813–8	19	72	3	7	2	9+9	2	13	40			24
МА821–8	23	72	3	7	1	4+4	1,7×3	14	47,5			24

Данные крановых электродвигателей серии 4MTF, H, M(K) 220/380 *в* △/Y.

Тип	*P, кВт*	статор												ротор						
		Z	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*кг*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*кг*
112L–6	2,2	54	3	9	1	31	1	3,7	7,2				9	36	2	6		19	1,4	9
112LB–6	3,7	54	3	9	1	20	1,25	6,2	11		150		9	36	2	6		15×2	1,12	9
132L–6	5,5	54	3	9	1	18	1,0×2	7,3	15				9	36	2	6		16×2	1,25	9
132LB–6	7,5	54	3	9	1	14	1,18×2	9	19				9	36	2	6		14×3	1,12	9
160L–8	7,5	48	2	6	1	16	1,18×3	14	25				12	36	1 и 2	5 и 4	2	28×2	1,12	12
160L–6	11	54	3	9	3	32	1,25	15	32	200	156	678	9	36	2	6	3	23×2	1,25	9
160LB–8	11	48	2	6	2	22	1,25×2	16	38	210	240		12	36	1 и 2	5 и 4	2	16×3	1,18	12
160LB–6	15	54	3	9	1	8	1,25×4	16	39	200	240	840	9	36	2	6	3	21×2	1,32	9
200L–8	15	72	3	9	2	15	1,25×2	17	42	240	205	800	12	48	2	6	2	13×3	1,25	12
200L–6	22	54	3	9	3	22	1,18×2	20	55	235	205	840	9	36	2	6	3	21×3	1,25	9
200LB–8	22	72	3	9	4	21	1,12×2	24	66	240	280	940	12	48	2	6	2	11×4	1,25	12
200LB–6	30	54	3	9	3	16	1,4×2	25	76	235	280	930	9	36	2	6	3	17×3	14	9
225M–8	30	72	3	9	4	21	1,25×2	28	230			430	12	48	2	6	2	12×4	1,32	12
225L–8	37	72	3	9	4	16	1,4×2	32	320			520	12	48	2	6	2	10×4	1,3	12
225M–6	37	72	4	10	6	27	1,18×2	32	230			447	9	54	3	9	3	15×3	1,4	9
225L–6	35	72	4	10	6	19	1,4×24	40	178			557	9	54	3	9	3	10×4	1,4	9
280S–10	45	75	2 и 3	7	5	12+12	1,4×2	23	108	372	220		30							
280M–10	60	75	2 и 3	7	5	9+9	1,32×3	27	142	372	300		30							
280L–10	75	75	2 и 3	7	5	7+7	1,5×3	31	182	372	390		30							
280S–8	55	72	3	9	4	17	1,4×3	26	112	372	320		12							
280M–8	75	72	3	9	4	12	1,4×4	28	154	372	300		12							
280L–8	90	72	3	9	4	10	1,4×5	34	178	372	390		12							
280S–6	75	72	4	12	3	10	1,32×6	27	147	360	220		9							
280L–6	110	72	4	10	3	6	1,4×8	32	212	360	360		9							
H111–6	3	36	2	6	1	32	1,18	3,2	11	148	115	550	9	27	1 и 2	4		11+11	1,4	18

Данные крановых электродвигателей серии 4MTF, H, M(K) 220/380 *в* △/Y.
(продолжение)

Тип	*P*, *кВт*	статор												ротор						
		Z	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*кг*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*кг*
H111–6	3	45	2 и 3	7	1	13+13	1,06	2,6	11	148	115		18	36	2	6	1	15	1,4	9
H112–6	4,5	36	2	6	1	25	1,32	4,6	14	148	155	630	9	27	1 и 2	4	1	(10+10) 2	1,18	18
H112–6	4,5	45	2 и 3	7	1	10+10	1,32	3,5	14	148	155		18	36	2	6	1	14×2	1,12	9
H211–6	7	36	2	6	1	21	1,25×2	6	23	170	145		9	27	1 и 2	4	1	(10+10) 2	1,32	18
H211–6	7	45	2 и 3	7	1	8+8	1,18×2	5,3	23	170	145	620	18	36	2	6	1	14×2	1,32	9
H311–6	11	54	3	9	1	11	1,18×3	6	31	200	156	678	9	36	2	6	3	24×2	1,18	9
H312–6	15	54	3	9	3	23	1,4	7,2	39	200	240	840	9	36	2	6	3	21×2	1,25	9
H411–6	22	54	3	9	3	22	1,18×2	9,6	55	235	205	840	9	36	2	6	3	21×3	1,25	9
H412–6	30	54	3	9	3	16	1,4×2	12	76	235	280	930	9	36	2	6	3	17×3	1,4	9
F,H311–8	7,5	60	2 и 3	7	1	7+7	1,25×2	6	24	210	156	652	24	48	2	6	1	12×2	1,4	12
F,H311–8	11	48	2	6	2	33	1,25	5,9	24	210	156		12	36	1 и 2	4	1	(8+8) 2	1,4	24
F,H312–8	11	60	2 и 3	7	4	19+19	1,06	7,5	31	210	240	792	24	48	2	6	2	11×2	1,5	12
F,H312–8	11	48	2	6	2	22	1,06×2	7,3	31	210	240		12	36	1 и 2	4	2	(8+8) 2	1,18	24
F,H411–8	15	72	3	9	2	15	1,25×2	8,9	43	240	205	800	12	48	2	6	2	13×3	1,25	12
F,H412–8	22	72	3	9	4	21	1,12×2	13	66	240	280	940	12	48	2	6	2	11×4	1,25	12
F011–6	1,4	45	2 и 3	7	1	22+22	0,85	2,2	5,2	127	85	420	18			к/з				
F012–6	2,2	45	2 и 3	7	1	16+16	1	2,4	7,2	127	120	490	18							
F111–6	3,5	36	2	6	1	32	1,25	3,8	9,4	148	115	550	9							
F111–6	3,5	45	2 и 3	7	1	14+14	1,18	3,6	9,4	148	115		18							
F112–6	5	36	2	6	1	24	1,06×2	4,2	14	148	155	630	9							
F112–6	5	45	2 и 3	7	1	10+10	1,06×2	4,2	14	148	155		18							
F211–6	7,5	36	2	6	1	21×3	1,32	63	20	170	145	620	9							
F211–6	7,5	45	2 и 3	7	1	9+9	1,32×2	6,3	20	170	145		18							
M111–6	2,2	45	2 и 3	6	1	17+17	0,95	2,6	6,4	148	115	510	18	36	2	6	1	16	1,32	9
M112–6	3,3	45	2 и 3	6	1	12+12	1,06	2,9	9,5	148	155	590	18	36	2	6	1	14	1,5	9
M211–6	5	45	2 и 3	7	1	10+10	1,4	4,1	14	170	145	640	18	36	2	6	1	14×2	1,18	9
M211–6	5	54	3	7	1	9+9	1,4	4,5	14	170	145	610	18	36	2	6	1	14×2	1,18	9
M311–6	7,5	54	3	7	2	13+13	1,12	4,7	19	200	155	640	18	36	2	6	1	12×2	1,5	9
M312–6	11	54	3	7	3	14+14	1,06	5,4	28	200	240		18	36	2	6	3	18×2	1,18	9
M411–6	16	54	3	7	2	9+9	1,18×2	8,4	37	235	205	780	18	36	2	6	3	21×2	1,4	9
M412–6	22	54	3	7	2	7+7	1,4×2	11	48	235	280	930	18	36	2	6	3	18×2	1,5	9
M311–8	5	60	2 и 3	6	2	17+17	0,95	4,5	15	210	156	620	24	48	2	6	1	12×2	1,3	12
M312–8	7,5	60	2 и 3	6	1	6+6	1,18×2	5,7	21	210	240	770	24	48	2	6	1	10×2	1,4	12
M411–8	11	72	3	7	2	9+9	1,5	8,3	29	240	205	740	24	48	2	6	2	12×2	1,5	12
M412–8	16	72	3	7	4	13+13	1,25	10	45	240	280	890	24	48	2	6	2	10×2	1,6	12

Данные крановых электродвигателей серии МТ, КТ 220/380 *в* Y.

Тип	*P*, *кВт*	статор												ротор						
		Z	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*кг*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*кг*
КТ22–6	2,2	48	2 и 3	8	1	21+21	1,18	5,1	7	155	80	500	18	36	2	6		24	1,6	9
КТ30–6	3	48	2 и 3	8	1	16+16	1,32	5,4	9,4	155	105	550	18	36	2	6		24	1,6	9
КТ40–6	4	48	2 и 3	8	1	13+13	1,4	5	10,8	180	110	570	18	36	2	6		12×2	1,6	9
КТ55–6	5,5	48	2 и 3	8	1	9+9	1,18×2	5,8	15	180	155	660	18	36	2	6		12×2	1,6	9
КТ75–6	8	54	3	7	1	8+8	1,5×2	9	20	215	150	660	18	36	2	6	3	18	2	9
КТ110–6	12	54	3	7	2	11+11	1,7	10,1	28,5	215	220	800	18	36	2	6	3	18	2,12	9
КТ110–8	11	48	2	5	1	8+8	1,5×3	12	27	260	180	705	24	72	3	9	стержневой			
КТ150–8	16	48	2	5	1	6+6	1,7×3	14,5	37,2	260	250	845	24	72	3	9	стержневой			
КТ220–8	22	72	3	8	2	8+8	1,7×2	18,5	49	310	200	805	24	96	4	12	стержневой			
КТ300–8	30	72	3	8	2	6+6	1,9×2	23	63,5	310	290	985	24	96	4	12	стержневой			
КТ300–10	30	90	3	8	5	14+14	1,9	34	72	380	270	1010	30	120	4	12	стержневой			
КТ400–10	40	90	3	8	5	11+11	2,24	40,5	91	380	340	1140	30	120	4	12	стержневой			
КТ500–10	50	90	3	8	5	10+10	1,8×2	44	113	410	300	1070	30	120	4	12	стержневой			
КТ640–10	64	90	3	8	10	16+16	1,9	47,2	141	410	380	1230	30	120	4	12	стержневой			
КТ800–10	80	90	3	8	5	8+8	2,5×2	72	180	460	330	1200	30	120	4	12	стержневой			
МТ11–6(к)	2,2	45	2 и 3	6	1	18+18	0,95	2,5	7,2	148	100	470	18	36	2	6		16	1,32	9
МТ12–6(к)	3,5	45	2 и 3	6	1	12+12	1,18	3,1	10,3	148	155	585	18	36	2	6		16	1,32	9
МТ21–6(к)	5	54	3	8	1	9+9	1,5	4,6	15	170	132	575	18	36	2	6		12×2	1,4	9
МТ22–6(к)	7,5	54	3	8	2	13+13	1,25	5,5	21	170	185	680	18	36	2	6		12×2	1,4	9
МТ31–6(к)	11	54	3	8	1	5+5	1,5×2	6	28,4	200	195	720	18	36	2	6		8×3	1,6	9
МТ31–8(к)	7,5	54	2 и 3	7	1	7+7	1,25×2	6,1	21,2	200	195	710	24	48	2	6		8×3	1,32	12
МТ41–8(к)	11	72	3	7	2	10+10	1,6	8,3	31	240	168	650	24	48	2	6	2	12×3	1,5	12
МТ42–8(к)	16	72	3	7	2	7+7	1,3×2	10,1	42,5	240	248	815	24	48	2	6	2	12×2	1,6	12
МТ51–8(к)	22	72	3	7	4	13+13	1,6	13,4	56,5	280	240	840	24	60	2½	7	2	8×4	1,5	12
МТ52–8(к)	30	72	3	7	2	5+5	1,4×3	15,3	71,6	280	320	1000	24	60	2½	7	2	8×4	13	12
МТ61–10	30	75	2 и 3	6	5	16+16	1,7	19,5	80	372	250	800	30	90	3	9	стержневой			
МТ62–10	45	75	2 и 3	6	5	11+11	1,4×2	23,1	110	372	350	1000	30	90	3	9	стержневой			
МТ63–10	60	75	2 и 3	6	5	9+9	1,6×2	28,5	133	372	445	1200	30	90	3	9	стержневой			
МТ71–10	80	90	3	7	10	15+15	1,5×2	44,8	190	460	295	1020	30	105	3½	10	стержневой			
МТ72–10	100	90	3	7	10	12+12	1,6×2	51	239	460	375	1160	30	105	3½	10	стержневой			
МТ73–10	125	90	3	7	10	10+10	1,6×3	63	286	460	455	1380	30	150	3½	10	стержневой			
МТ–011–6(к)	1,4	45	2 и 3	6	1	24+24	0,83	2,2	4,8	127	85	420	18	36	2	6		18	1,32	9
МТ–012–6(к)	2,2	45	2 и 3	6	1	17+17	0,95	2,5	7	127	120	490	18	36	2	6		16	1,32	9
МТ–111–6(к)	3,5	45	2 и 3	6	1	15+15	1,2	3,6	10	148	115	510	18	36	2	6		18×2	1,06	9
МТ112–6(к)	5	45	2 и 3	6	1	11+11	1,0×2	4,2	14	148	155	590	18	36	2	6		15×2	1,18	9
МТ211–6(к)	73	45	2 и 3	7	1	9+9	1,32×2	6,3	20	170	150	640	18	36	2	6		16×2	1,32	9
МТ212–6(к)	7,5	54	3	7	1	8+8	1,18×2	5,5	20	170	150	610	18	36	2	6		16×2	1,32	9
МТВ311–8(к)	7,5	60	2 и 3	6	2	15+15	1,18	5,8	20,5	210	165	620	24	48	2	6	2	25	1,32	12
МТВ312–8(к)	11	60	2 и 3	6	1	5+5	1,4×2	6,5	31	210	240	770	24	48	2	6	2	25×2	1,4	12
МТВ411–8(к)	16	72	3	7	2	8+8	1,32×2	105	42,5	240	205	740	24	48	2	6	2	13×3	1,32	12
МТВ412–8(к)	22	72	3	7	1	3+3	1,5×4	11,6	58	240	280	890	24	48	2	6	2	11×3	1,4	12
МТВ511–8(к)	30	72	3	7	4	11+11	1,25×2	15,2	74	270	260	860	24	48	2	6	2	12×4	1,32	12
МТВ512–8(к)	40	72	3	7	4	8+8	1,18×3	19	97	270	360	1060	24	48	2	6	2	10×4	1,5	12
МТВ311–6(к)	11	54	3	7	3	6+6	1,06×3	5,2	28	200	165	640	18	36	2	6		8×4	1,4	12
МТВ312–6(к)	16	54	3	7	3	13+13	1,32	7	38	200	240	790	18	36	2	6	3	21×2	1,25	9
МТВ411–6(к)	22	54	3	7	3	12+12	1,18×2	10	52	235	205	780	18	36	2		3	21×2	1,5	9
МТВ412–6(к)	30	54	3	7	3	9+9	1,32×2	11	67	235	280	930	18	36	2	6	3	18×3	1,32	9

Данные Болгарских электродвигателей серии АО2, А2, 380 *в* Y.

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*
АО2–12–2	1,1	24	2+2	10	1	63	0,65	1,3	2,5	70	85	550	6
АО2–21–2	1,5	24	2+2	10	1	64	0,85	2	3,3	85	65	500	6
АО2–22–2	2,2	24	2+2	10	1	48	0,95	2,3	4,5	85	95	595	6
АО2–31–2	3	24	2+2	10	1	41	1,18	2,8	6,2	100	90	590	6
АО2–32–2	4	24	2+2	10	1	34	1,32	3,3	8	100	115	680	6
АО2–41–2	5,5	24	4	8	1	18+18	1,18×2	5,5	11	125	105	635	6
АО2–42–2	7,5	24	4	8	1	14+14	1,32×2	6,1	14	125	140	705	6
АО2–51–2	10	24	4	8	1	12+12	1,32×3	7,7	19	140	135	745	6
АО2–52–2	13	24	4	8	1	10+10	1,25×4	8,8	24	140	175	825	6
АО2–62–2	17	36	6	14	2	10+10	1,4+1,5	10,6	32	160	175	940	6
АО2–71–2	22	36	6	14	2	10+10	1,6+1,7	13,6	42	180	152	985	6
АО2–72–2	30	36	6	14	2	7+8	1,6×3	17	56	180	190	1070	6
АО2–81–2	40	36	6	14	2	7+8	1,6×4	24	75	205	185	1220	6
АО2–82–2	55	36	6	14	2	5+6	1,7×5	26,5	100	205	255	1460	6
АО2–91–2	75	36	6	14	2	4+5	1,8×9	47	138	240	285	1460	6
АО2–92–2	100	36	6	14	2	3+4	1,8×11	55	180	240	390	1670	6
АО2–11–4	0,8	36	3	9	1	67	0,56	1	2	76	80	375	6
АО2–12–4	1,1	36	3	9	1	51	0,65	1,2	2,6	76	105	420	6
АО2–21–4	1,5	36	3	9	1	50	0,8	1,8	3,4	93	90	437	6
АО2–22–4	2,2	36	3	9	1	38	0,95	2	5	93	120	475	6
АО2–31–4	3	36	3	9	1	37	1,06	2,8	6,3	105	110	500	6
АО2–32–4	4	36	3	9	1	28	1,32	3,3	8,5	105	145	572	6
АО2–41–4	5,5	36	3	7	1	14+14	1,12×2	4,5	11	133	120	540	12
АО2–42–4	7,5	36	3	7	1	11+11	1,25×2	5,4	15	133	160	620	12
АО2–51–4	10	36	3	8	2	20+20	1,12×2	8,2	19	152	135	620	12
АО2–52–4	13	36	3	8	4	31+31	1,25	8,7	25	152	175	700	12
АО2–61–4	14	36	3	7	2	17+17	1,32×2	10,2	27	173	145	640	12
АО2–62–4	17	36	3	7	2	14+14	1,5×2	11,7	33	173	175	700	12
АО2–71–4	22	36	3	7	4	24+24	1,7	13,8	43	200	170	740	12
АО2–72–4	30	36	3	7	4	18+18	1,32+1,6	17,5	57	200	232	860	12
АО2–81–4	40	48	4	10	4	1+13	1,32×3	22,2	75	230	225	920	12
АО2–82–4	55	48	4	10	4	10+10	1,32×4	27,5	99	230	310	1190	12
АО2–91–4	75	48	4	10	4	8+9	1,6×5	44	137	265	315	1180	12
АО2–92–4	100	48	4	10	4	6+7	1,32×8	53,2	181	265	420	1390	12
АО2–21–6	0,8	36	2	6	1	80	0,6	1,6	2,3	98	75	390	9
АО2–22–6	1,1	36	2	6	1	65	0,71	1,9	3,6	98	95	460	9
АО2–31–6	1,5	36	2	6	1	60	0,8	2,1	3,8	115	90	385	9
АО2–32–6	2,2	36	2	6	1	42	0,95	2,4	5,4	115	130	475	9
АО2–41–6	3	36	2	5	1	23+23	1,25	4,1	6,8	144	105	450	18
АО2–42–6	4	36	2	5	1	17+17	1,4	5	9	144	140	520	18
АО2–51–6	5,5	36	2	5	1	14+14	1,06×2	4,5	11,9	173	135	540	18
АО2–52–6	7,5	36	2	5	1	11+11	1,25×2	5,8	15,9	173	175	620	18
АО2–61–6	10	36	2	5	2	20+20	1,12×2	8,2	21	183	160	630	18
АО2–62–6	13	36	2	5	2	16+16	1,32×2	10,2	27	183	210	730	18
АО2–71–6	17	54	3	7	2	11+11	1,5+1,4	12,8	34	230	175	685	18
АО2–72–6	22	54	3	7	2	9+9	1,6+1,7	14,6	42	230	225	795	18
АО2–81–6	30	72	4	10	3	10+10	1,32×3	23	56	260	225	870	18
АО2–82–6	40	72	4	10	3	7+7	1,9×2	27,5	73	260	310	1040	18

Данные Болгарских электродвигателей серии АО2, А2,380 *в* Y.
(продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*
АО2–91–6	55	72	4	10	6	12+12	1,6+1,5	33	100	300	285	1020	18
АО2–92–6	75	72	4	10	6	10+10	1,6×3	48	132	300	390	1230	18
АО2–31–8	1,1	48	2	6	1	59	0,75	1,9	3,2	115	90	360	12
АО2–32–8	1,5	48	2	6	1	45	0,9	2,4	4,1	115	120	400	12
АО2–41–8	2,2	36	1 и 2	4	1	29+29	1,12	3,8	5,9	144	105	420	24
АО2–42–8	3	36	1 и 2	4	1	21+21	1,32	4,3	8	144	140	490	24
АО2–51–8	4	36	1 и 2	4	1	19+19	1,4	5,3	9,4	173	135	490	24
АО2–52–8	5,5	36	1 и 2	4	1	14+14	1,18×2	6,3	12,8	173	175	570	24
АО2–61–8	7,5	36	1 и 2	4	1	13+13	1,4×2	8,9	17	185	160	570	24
АО2–62–8	10	36	1 и 2	4	1	10+10	1,32×3	10	23	185	210	650	24
АО2–61–8	7,5	54	2 и 3	6	2	19+19	1,4	8,9	16	195	150		24
АО2–62–8	10	54	2 и 3	6	2	15+15	1,18×2	10	21	195	190		24
АО2–71–8	13	54	2 и 3	6	2	15+15	1,32×2	27	27	230	175	640	24
АО2–72–8	17	54	2 и 3	6	2	11+11	1,5+1,4	35	35	230	225	750	24
АО2–81–8	22	72	3	7	2	8+8	1,32×3	45,5	46	260	225	750	24
АО2–82–8	30	72	3	7	2	6+6	1,7×3	60,5	61	260	310	920	24
АО2–91–8	40	72	3	7	4	11+11	1,4×3	32	92	300	285	925	24
АО2–92–8	55	72	3	7	4	8+8	1,4×4	40	98	300	390	1135	24
А2–61 –2	17	36	6	14	2	14+14	1,7	8,5	33	158	104	800	6
А2–62–2	22	36	6	14	2	11+11	1,32×2	9,1	42	158	142	875	6
А2–71–2	30	36	6	14	2	10+10	1,6+1,7	13,5	57	180	130	1030	6
А2–72–2	40	36	6	14	2	8+7	1,6×3	16,5	75	180	170	1110	6
А2–81–2	55	36	6	14	2	7+8	1,6×4	20,9	102	205	165	1080	6
А2–82–2	75	36	6	14	2	5+6	1,7×5	24,8	138	205	225	1200	6
А2–91–2	100	36	6	14	2	5+6	1,8×6	37,5	185	240	210	1310	6
А2–92–2	125	36	6	14	2	4+4	1,8×7	40,5	230	240	285	1400	6
А2–61–4	13	36	3	7	2	21+21	1,18×2	9,65	25,2	173	114	610	12
А2–62–4	17	36	3	7	2	16+16	1,4×2	10,7	32,8	173	152	680	12
А2–71–4	22	36	3	7	4	32+32	1,4	13,6	44	200	130	740	12
А2–72–4	30	36	3	7	4	23+23	1,25×4	17,2	58	200	170	860	12
А2–81–4	40	48	4	10	4	11+11	1,4×2	21,8	75	230	165	920	12
А2–82–4	55	48	4	10	4	12+12	1,4×3	26,6	102	230	225	1090	12
А2–91–4	75	48	4	10	4	11+11	1,6×4	43,2	138	265	210	1180	12
А2–92–4	100	41	4	10	4	9+9	1,4×7	52,2	182	265	285	1390	12
А2–61–6	10	36	2	5	2	27+27	1,4	7,6	21	185	114	540	18
А2–62–6	13	36	2	5	2	20+20	1,18×2	8,8	27	185	152	615	18
А2–71–6	17	54	3	7	2	13+13	1,32×2	12,3	35	230	130	615	18
А2–72–6	22	54	3	7	2	10+11	1,25×3	14,8	44	230	170	696	18
А2–81–6	30	72	4	10	3	12+12	1,4+1,5	19,2	58	260	165	750	18
А2–82–6	40	72	4	10	3	9+9	1,18×4	21,6	79	260	225	870	18
А2–91–6	55	72	4	10	3	8+8	1,4×4	28	105	300	195	870	18
А2–92–6	75	72	4	10	3	5+6	1,4×6	37,4	140	300	280	960	18
А2–61–8	7,5	54	2 и 3	6	2	22+22	1,32	73	17	195	114	495	24
А2–62–8	10	54	2 и 3	6	2	17+17	1,12×2	9,8	22	195	152	570	24
А2–71–8	13	54	2 и 3	6	2	16+16	1,25×2	11,8	29	230	130	560	24
А2–72–8	17	54	2 и 3	6	2	13+13	1,32+1,5	13,6	37	230	170	640	24
А2–81–8	22	72	4	7	2	11+11	1,25×3	16,2	45	260	165	670	24

Данные Болгарских электродвигателей серии АО2, А2,380 *в* Y. (продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*
А2–82–8	30	72	4	7	2	7+1	1,5×3	19,9	62	260	225	760	24
А2–91–8	40	72	4	7	4	13+13	1,32×3	25,5	80	300	195	735	24
А2–92–8	55	72	4	7	4	9+10	1,5×3	32,3	110	300	285	915	24

Данные Болгарских электродвигателей серии 4АО, МО, 380 *в*.

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*	сх
4АО–71А–2	0,75	24	2+2	10	2	84	0,53	0,9	1,9	62	55	430	6	Y
4АО–71В–2	1,1	24	2+2	10	1	64	0,63	1	2,6	62	75	470	6	Y
4АО–80А–2	1,5	24	2+2	10	1	61	0,75	1,5	3,3	69	75	500	6	Y
4АО–80В–2	2,2	24	2+2	10	1	46	09	1,7	4,6	69	100	550	6	Y
4АО–90L–2	3	24	2+2	10	1	38×2	0,75	2,2	6,1	78	110	610	6	Y
4АО–100S–2	4	24	2+2	10	1	37×2	035	3,2	8	88	110	650	6	Y
4АО–100L–2	5,5	24	2+2	10	1	30×2	0,85	3,7	11	88	150	730	6	Y
МО–112М–2	7,5	24	2+2	10	1	26×2	1,06	5,5	15	106	145	730	6	Y
МО–132 М–2	11	36	6	14	2	15+15	0,95×3	8,4	21	125	150	775	6	Y
МО–160S–2	15	36	6	14	2	14+14	1,06×3	9,1	28	145	135	835	6	Y
МО–160М–2	18,5	36	6	14	2	12+12	1,0×4	9,7	34	145	160	885	6	Y
МО–180S–2	22	36	6	14	2	19+19	1,32×2	16	41	165	155	950	6	△
МО–180М–2	30	36	6	14	2	14+14	1,25×3	17	56	165	200	1040	6	△
МО–200М–2	37	36	6	14	2	15+15	1,18×4	22	70	188	157	1160	6	△
МО–200L–2	45	36	6	14	2	12+12	1,25×4	23	84	188	195	1220	6	△
МО–225М–2	55	36	6	14	2	10+10	1,4×4	25	100	218	220	1270	6	△
МО–250S–2	75	36	6	14	2	9+9	1,4×6	38	141	238	205	1320	6	△
МО–250М–2	90	36	6	14	2	8+8	1,4×7	42	166	238	240	1390	6	△
МО–280S–2	110	36	6	14	2	6+7	1,32×11	48	200	277	260	1580	6	△
МО–280М–2	132	36	6	14	2	6+6	1,4×11	52	238	277	310	1680	6	△
4АО–71А–4	0,55	36	3	9	1	86	0,45	0,6	1,6	70	55	270	6	Y
4АО–71В–4	0,75	36	3	9	1	63	0,53	0,7	2,1	70	75	310	6	Y
4АО–80А–4	1,1	36	3	9	1	58	0,63	0,9	2,8	78	75	330	6	Y
4АО–80В–4	1,5	36	3	9	1	46	0,75	1,2	3,7	78	100	380	6	У
4АО–90L–4	2,2	36	3	9	1	36×2	0,63	1,5	5,5	86	110	410	6	Y
4АО–100S–4	3	36	3	9	1	33×2	0,75	2	6,9	99	110	430	6	Y
4АО–100L–4	4	36	3	9	1	26×2	0,85	2,4	8,6	99	145	500	6	Y
МО112М–4	5,5	36	3	9	1	26×2	1,12	4,4	12	115	135	535	6	Y
МО–132S–4	7,5	36	3	7	2	23+23	1,06×2	6,6	16	138	135	590	12	Y
МО–132М–4	11	36	3	7	2	16+16	1,06×3	9	23	138	200	720	12	Y
МО–160S–4	15	48	4	12	2	28×3	1,06	9,2	29	158	145	650	6	Y
МО–160М–4	18,5	48	4	12	2	23×3	1,18	11	18,5	158	180	720	6	Y
МО–160S–4	22	48	4	10	2	17+17	1,25×2	14	41	185	180	780	12	△
МО–180 М–4	30	48	4	10	2	13+13	1,18×2	16	57	185	225	870	12	△
МО–200М–4	37	48	4	10	4	26+26	1,12×2	19	69	214	207	885	12	△
МО–200L–4	45	48	4	10	4	22+22	1,25×2	22	82	214	245	965	12	△
МО–225 М–4	55	48	4	10	4	21+21	1,18×3	29	100	241	240	990	12	△
МО–250S–4	75	60	5	11	4	15+15	1,3×3	35	137	269	220	1010	12	△
МО–250М–4	90	60	5	11	4	13+13	1,4×3	40	163	269	260	1090	12	△
МО–280S–4	110	60	5	11	4	11+12	1,4×4	45	193	313	260	1145	12	△

Данные Болгарских электродвигателей серии 4АО, МО, 380 *в*.
(продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*	сх
А–280М–4	132	60	5	11	4	10+10	1,4×5	51	230	313	310	1245	12	△
А–315S–4	200	60	5	12	4	10+10	1,6×6	76	365	358	260	1231	12	△
А–315М–4	250	60	5	12	4	8+8	1,7×7	82	456	358	310	1331	12	△
АО–315S–4	160	60	5	11	4	10+11	1,5×7	80	291	358	260	1200	12	△
АО–315М–4	200	60	5	11	4	8+9	1,7	86	366	358	310	1300	12	△
4АО–71А–6	0,37	36	2	6	1	111	0,45	0,7	1,3	76	65	260	9	Y
4АО–71В–6	1,8	36	2	6	1	86	0,5	0,8	1,3	76	85	300	9	Y
4АО–80А–6	2,3	36	2	6	1	73	0,56	0,9	2,3	86	85	310	9	Y
4АО–80В–6	1,1	36	2	6	1	54	0,67	1	3	86	115	370	9	Y
4АО–90L–6	1,5	36	2	6	1	49	0,53×2	1,1	4,1	95	120	390	9	Y
4АО–100L–6	2,2	36	2	6	1	39	0,9	1,7	5,7	107	130	420	9	Y
МО–112МК–6	3	36	2	6	1	37	0,9×2	3,8	7,5	126	130	510	9	Y
МО–112М–6	4	36	2	6	1	30	1,0×2	4,3	9,5	126	165	575	9	Y
МО–132S–6	5,5	36	2	5	2	32+32	1,18	5,4	13	148	135	515	18	Y
МО–132М–6	7,5	36	2	5	2	23+23	0,95×2	6,1	17	148	185	615	18	Y
МО–160S–6	11	54	3	9	3	44	0, ×29	7,8	23	170	160	635	9	Y
МО–160М–6	15	54	3	9	3	33	1,06×2	9,5	30	170	215	765	9	Y
МО–180М–6	18,5	72	4	10	3	20+20	1,32	14	36	205	225	770	18	△
МО–200М–6	22	72	4	10	3	21+21	1,4	15	42	240	175	725	18	△
МО–200 L–6	30	72	4	10	3	16+17	1,18×2	18	55	240	233	845	18	△
МО–225М–6	37	72	4	10	3	15+15	1,32×2	22	70	272	220	860	18	△
МО–250 S–6	45	72	4	10	3	14+15	1,4×2	26	87	299	180	840	18	△
МО–250 М–6	55	72	4	10	3	12+13	1,32×2	29	105	299	205	890	18	△
МО–280 S–6	75	72	4	10	6	21+21	1,32×2	36	137	349	210	950	18	△
МО–280М–6	90	72	4	10	6	18+18	1,18×3	40	162	349	260	1050	18	△
А–315S–6	132	72	4	10	6	16+16	1,5×3	69	250	389	270	447	18	△
А–315М–6	160	72	4	10	6	13+13	1,32×5	73	293	389	320	1247	18	△
АО–315S–6	110	72	4	10	6	16+16	1,4×4	70	206	389	270	1100	18	△
АО–315М–6	132	72	4	10	6	14+14	1,7×3	76	243	389	320	1200	18	△
4АО–80А–8	0,37	36	2 и 1	4 и 5	1	107	0,53	1	1,4	86	85	310	12	Y
4АО–80В–8	0,55	36	2 и 1	4 и 5	1	79	0,63	1,1	2	86	115	370	12	Y
4АО–90L–8	0,75	36	2 и 1	4 и 5	1	71	0,71	1,3	2,8	95	110	370	12	Y
4АО–100S–8	1,1	48	2	6	1	55×2	0,5	1,2	3,3	107	90	350	12	Y
4АО–100L–8	1,5	48	2	6	1	40×2	0,6	1,6	4,3	107	130	430	12	Y
МО–112МК–8	2,2	36	2 и 1	4	1	24+24	1,06	3,2	6,6	126	130	440	12	Y
МО–112М–8	3	36	2 и 1	4	2	19+19	0,8×25	3,7	8,3	126	165	515	24	Y
МО–132S–8	4	36	2 и 1	4	1	38+38	1,06	4,8	11	148	135	480	24	Y
МО–132М–8	5,5	36	2 и 1	14	2	30+30	0,85×2	6,3	14	148	185	580	24	Y
МО–160S–8	7,5	48	2	5	2	20+20	0,9×25	6,8	16	170	160	545	24	Y
МО–160М–8	11	48	2	5	2	15+15	1,12×2	8,3	25	170	215	655	24	Y
МО–180М–8	15	72	3	7	2	16+16	1,06×2	13	32	205	240	700	24	△
МО–200М–8	18,5	72	3	7	2	16+16	1,18×2	15	38	240	195	670	24	△
МО–200L–8	22	72	3	7	2	14+14	1,25×2	19	45	240	233	850	24	△
МО–225М–8	30	72	3	7	4	24+24	1,5	21	62	272	220	750	24	△
МО–250S–8	37	72	3	7	4	23+23	1,18×2	24	75	280	205	770	24	△
МО–250М–8	45	72	3	7	4	20+20	1,25×2	27	90	280	240	840	24	△
МО–280S–8	55	72	3	7	4	18+18	1,4×2	30	109	349	210	815	24	△

Данные Болгарских электродвигателей серии 4АО, МО, 380 *в*.
(продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*	сх
МО–280М–8	75	72	3	7	4	13+13	1,32×3	35	146	349	310	1015	24	△
А–315S–8	110	72	3	8	4	12+12	1,4×5	70	216	409	300	1147	24	△
А–315М–8	132	72	3	8	4	10+10	1,4×6	76	255	409	350	1247	24	△
АО–315S–8	90	72	3	8	4	12+12	1,32×6	69	174	409	300	1000	24	△
АО–315М–8	110	72	3	8	4	10+10	1,6×5	79	213	409	350	1100	24	△
А–315S–10	75	90	3	8	5	10+10	1,4×5	64	150	424	265	1060	30	△
А–315М–10	90	90	3	8	5	8+8	1,4×6	67	180	424	315	1160	30	△

Данные Болгарских электродвигателей серии, АОЛ, АЛ, АО 380 *в*.

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*	сх
АОЛ–63–2	14	36	6	12	2	23+23	1,6	14,5	27	180	135	910	6	△
АОЛ–72–2	20	36	6	12	2	19+19	1,4×2	19,3	38	205	135		6	△
АОЛ–73–2	28	36	6	12	2	16+16	1,18×4	24,8	52	205	185		6	△
АОЛ–82–2	40	36	6	12	2	12+12	1,6×3	31,4	73	240	195	1235	6	△
АОЛ–83–2	55	36	6	12	2	9+9	1,7×4	37,4	97	240	270	1430	6	△
АОЛ–63–4	14	36	3	7	2	28+28	1,4	37,4	27	200	135	680	12	△
АОЛ–72–4	20	36	3	7	2	24+24	1,18×2	13,6	34	230	135		12	△
АОЛ–73–4	28	36	3	7	2	17+17	1,8×3	16,3	53	230	185		12	△
АОЛ–82–4	40	48	4	10	2	11+11	1,6×3	28	76	265	182	940	12	△
АОЛ–83–4	55	48	4	10	4	16+16	1,7×2	33,9	103	265	262	1100	12	△
АОЛ–93–4	75	60	5	13	4	12+12	1,6×3	52,1	135	315	253	1275	12	△
АОЛ–94–4	100	60	5	13	4	9+9	1,4×5	55,3	180	315	336	1450	12	△
АОЛ–72–6	14	54	3	7	3	34+34	1,25	12,7	29	260	135		18	△
АОЛ–73–6	20	54	3	7	2	17+17	1,25×2	15,8	41	260	180		18	△
АОЛ–82–6	28	72	4	10	2	11+11	1,32×3	24,8	55	300	182	855	18	△
АОЛ–83–6	40	72	4	10	3	12+12	1,6×2	30,2	77,5	300	262	1000	18	△
АОЛ–93–6	55	72	4	10	6	20+20	1,18×3	46,5	103	350	253	1100	18	△
АОЛ–94–6	75	72	4	10	6	15+15	1,32×3	53,8	142	350	336	1260	18	△
АОЛ–73–8	14	48	2	5	1	12+12	1,32×3	14,8	30	260	185	730	24	△
АОЛ–82–8	20	72	3	7	2	16+16	1,25×2	18,9	413	300	182	890	24	△
АОЛ–83–8	28	72	3	7	4	22+22	1,5	22,6	59	300	262	985	24	△
АОЛ–93–8	40	72	3	7	4	18+18	1,4×2	36	80	350	253	985	24	△
АОЛ–94–8	55	72	3	7	4	14+14	1,6×2	40,8	109	350	336	1150	24	△
АЛ–61–2	14	36	6	12	1	16+16	1,32×2	11	27	180	75	790	6	△
АЛ–62–2	20	36	6	12	2	23+23	1,5	11,2	38	180	100	985	6	△
АЛ–71–2	28	36	6	12	2	21+21	1,32×2	17	52	205	100	930	6	△
АЛ–72–2	40	36	6	12	2	16+16	1,32×2	18,6	74	205	135	1000	6	△
АЛ–62–4	14	36	3	7	1	17+17	1,25×2	8,4	27	200	100	610	12	△
АЛ–71–4	20	36	3	7	2	29+29	1,32	11,6	39	230	100	685	12	△
АЛ–72–4	28	36	3	7	2	23+23	1,25×2	14	52	230	135	755	12	△
АЛ–81–4	40	48	4	10	4	29+29	1,7	25	73	265	130	880	12	△
АЛ–82–4	55	48	4	10	4	22+22	1,32×2	27	98	265	180	980	12	△
АЛ–91–4	75	60	5	11	4	15+15	1,32×2	37,7	142	315	163	1050	12	△
АЛ–92–4	100	60	5	11	4	12+12	1,32×2	46,8	188	315	223	1200	12	△
АЛ–101–4	130	60	5	11	4	12+12	1,32×5	50	230	315	230	1150	12	△
АЛ–102–4	160	60	5	12	4	10+10	1,32×6	55	282	315	280	1250	12	△

Данные Болгарских электродвигателей серии, АОЛ, АЛ, АО 380 *в.*
(продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*	сх
АЛ–103–4	190	60	5	12	4	8+8	1,5×6	64	330	315	330	1360	12	△
АЛ–104–4	250	60	5	13	4	6+6	1,5×8	76	436	315	430	1600	12	△
АЛ–71–6	14	54	3	7	2	29+29	1,32	11,2	30	260	100	600	18	△
АЛ–72–6	20	54	3	7	3	33+33	1,25	13,3	41	260	135	670	18	△
АЛ–81–6	28	72	4	10	3	21+21	1,6	22,7	57	300	130	790	18	△
АЛ–82–6	40	72	4	10	3	15+15	1,32×2	25	81	300	180	890	18	△
АЛ–91–6	55	72	4	10	6	27+27	1,6		108	350	163		18	△
АЛ–92–6	75	72	4	10	6	21+21	1,32×2		146	350	223		18	△
АЛ–101–6	100	72	4	9	6	19+19	1,25×3	46,3	182	350	250	1000	18	△
АЛ–102–6	130	72	4	9	6	15+15	1,25×4	56,5	237	350	325	1155	18	△
АЛ–103–6	160	72	4	9	6	11+11	1,32×5		288	350	430	1365	18	△
АЛ–81–8	20	72	3	4	4	37+37	1,18	18	45	300	130	650	24	△
АЛ–82–8	28	72	3	7	4	28+28	1,4	21,3	58	300	180	750	24	△
АЛ–81–8	40	72	3	7	4	25+25	1,7		82	350	163		24	△
АЛ–92–8	55	72	3	7	4	19+19	1,4×2		111	350	223		24	△
АЛ–101–8	75	72	3	7	4	17+17	1,32×3	45,3	141	350	250	940	24	△
АЛ–102–8	100	72	3	7	4	13+13	1,32×4	54,3	188	350	325	1090	24	△
АО–80а–2	0,55	24	2+2	10	1	106	0,5	0,9	1,4	69	50	385	6	Y
АО–80б–2	0,75	24	2+2	10	1	81	0,56	1,1	13	69	65	405	6	Y
АО–80с–2	1,1	24	2+2	10	1	61	0,63	1,1	23	69	85	450	6	Y
АО–90S –2	1,5	24	2+2	10	1	62	0,8	1,7	33	78	75	485	6	Y
АО–90L–2	2,2	24	2+2	10	1	46	0,9	1,9	4,7	78	100	535	6	Y
АО–100L–2	3	24	2+2	10	1	38	1,06	2,3	6,2	82	120	580	6	Y
АО–112М2	4	24	2+2	10	1	38	1,06	2,3	6,2	82	120	580	6	Y
АО–132S–2	7,5	24	2+2	10	1	26	1,18×3	6,8	14,6	122	130	750	6	Y
АО–132М–2	10	24	2+2	10	1	21	1,18×4	8,6	193	122	170	830	6	Y
АО–160М–2	15	36	6	14	2	12+12	1,4×2	10,7	27,4	134	180	880	6	Y
АО–160L–2	18,5	36	6	14	2	10+10	1,35×3	11,6	33,6	139	220	960	6	Y
АО–80а–4	0,37	36	3	9	1	112	0,4	0,6	1,05	76	45	260	12	Y
АО–80б–4	0,55	36	3	9	1	88	0,47	0,8	1,42	76	60	240	12	Y
АО–80с–4	0,75	36	3	9	1	63	0,36	0,9	2	76	80	340	12	Y
АО–90S–4	1,1	36	3	9	1	59	0,67	1,2	2,7	87	75	355	12	Y
АО–90L–4	1,5	36	3	9	1	47	0,75	1,4	3,6	87	95	396	12	Y
АО–100L–4	2,2	36	3	9	1	38	0,9	1,9	4,9	83	115	455	12	Y
АО–112S–4	3	36	9	9	1	34	1,06	2,4	6,6	105	105	475	12	Y
АО–112М–4	4	36	3	9	1	26	1,25	3	8,5	105	140	545	12	Y
АО–132S–4	5,5	36	3	7	1	14+14	1,12×2	4,9	11,2	133	120	535	12	Y
АО–132М–4	7,5	36	3	7	1	11+11	1,25×2	5,5	143	133	160	615	12	Y
АО–160М–4	11	36	3	7	2	19+19	1,18×2	9,1	21,8	152	140	645	12	Y
АО–160L–4	15	36	3	7	2	14+14	1,18×3	10,8	293	152	190	745	12	Y
АО–80б–6	0,37	36	2	6	1	112	0,45	0,71	1,38	81	65	260	9	Y
АО–80с–6	0,55	36	2	6	1	90	0,3	0,93	1,76	81	85	290	9	Y
АО–90S–6	0,75	36	2	6	1	79	0,36	1,1	2,2	93	80	310	9	Y
АО–90L–6	1,1	36	2	6	1	60	0,67	1,35	3	93	105	360	9	Y
АО–100L–6	1,5	36	2	6	1	54	0,75	1,65	3,8	98	115	390	9	Y
АО–112М–6	2,2	36	2	6	1	42	0,95	2,1	5,5	119	120	425	9	Y
АО–132S–6	3	36	2	5	1	23+23	1,25	4,2	63	144	105	450	18	Y

Данные Болгарских электродвигателей серии, АОЛ, АЛ, АО 380 *в*.
(продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*	сх
АО–132МК–6	4	36	2	5	1	18+18	1,0×2	4,3	83	144	135	510	18	Y
АО–132М–6	5,5	36	2	5	1	14+14	0,95×3	5,8	113	144	175	590	18	Y
АО–160М–6	7,5	36	2	5	1	12+12	1,32+1,4	6,7	153	173	160	600	18	Y
АО–160L–6	11	36	2	5	2	17+17	1,18×2	8,8	22,4	173	235	750	18	Y
АО–100L–8	0,75	36	2 и 1	4 и 5	1	77	0,63	1,6	1,9	98	105	370	12	Y
АО–112S–8	1,1	48	2	6	1	60	0,75	2	3,3	119	85	350	12	Y
АО–112М–8	1,5	48	2	6	1	43	0,85	2,2	4,6	119	120	420	12	Y
АО–132S–8	2,2	36	2 и 1	4	1	29+29	1,12	3,9	5,7	144	105	410	24	Y
АО–132М–8	3	36	2 и 1	4	1	21+21	1,32	4,4	8	144	135	470	24	Y
АО–160МК–8	4	36	2 и 1	4	2	41+41	1,0	5,4	9,8	173	120	475	24	Y
АО–160М–8	5,5	36	2 и 1	4	1	15+15	1,18×2	6,2	12,7	173	160	555	24	Y
АО–160L–8	7,5	36	2 и 1	4	1	11+11	1,18×3	8,2	17	173	235	705	24	Y

Данные Болгарских электродвигателей серии, М, АОМ 380 *в*.

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*	сх
М200М–2	55	36	6	14	2	11+12	1,2×45	21	102	188	195	1125	6	△
М200L–2	75	36	6	14	2	9+10	1,25×5	24	136	188	233	1215	6	△
М225М–2	90	36	6	14	2	8+9	1,5×4	26	163	219	220	1300	6	△
М250S–2	110	36	6	14	2	8+9	1,5×5	32	202	238	205	1320	6	△
М250М–2	132	36	6	14	2	7+8	1,7×5	39	240	238	240	1390	6	△
М280S–2	160	36	6	14	2	6+7	1,4×8	40	290	278	210	1480	6	△
М280М–2	200	36	6	14	2	5+6	1,4×10	48	355	278	260	1580	6	△
М200М–4	45	48	4	10	4	24+24	1,18×2	21	82	214	207	910	12	△
М200L–4	55	48	4	10	4	20+20	1,32×2	23	100	214	245	990	12	△
М225М–4	75	48	4	10	4	19+19	1,25×3	28	140	241	240	980	12	△
М250S–4	90	60	5	12	4	15+15	1,25×3	29	164	269	205	980	12	△
М250М–4	110	60	5	12	4	13+13	1,2×45	36	199	269	240	1050	12	△
М280S–4	132	60	5	12	4	12+12	1,5×3	37	234	314	210	1090	12	△
М280М–4	160	60	5	12	4	10+10	1,5×4	46	276	314	260	1190	12	△
М280МК–4	190	60	5	12	4	9+9	1,5×5	53	340	314	280	1230	12	△
М280МL–4	200	60	5	13	4	8+8	1,6×5	57	365	314	300	1270	12	△
М–280L–4	250	60	5	12	4	7+7	1,7×6	72	445	314	375	1420	12	△
М–315МК–4	250	60	5	12	4	7+7	1,32×11		457	355	330		12	△
М–315М–4	315	60	5	12	4	6+6	1,6×10		572	355	390		12	△
М–200М–6	30	72	4	10	3	18+18	1,06×2	17	60	240	195	780	18	△
М–200L–6	37	72	4	10	3	15+15	1,18×2	19	73	240	233	860	18	△
М–225М–6	45	72	4	10	3	14+15	1,32×2	20	88	272	220	860	18	△
М–250S–6	55	72	4	10	3	14+14	1,32+1,4	21	104	300	180	830	18	△
М–250М–6	75	72	4	10	3	11+11	1,18×4	30	138	300	240	950	18	△
М–280S–6	90	72	4	10	3	20+20	1,25×2	31	168	250	210	970	18	△
М–280М–6	110	72	4	10	3	17+17	1,4+1,5	39	200	350	260	1070	18	△
М–280LK–6	132	72	4	10	6	14+14	1,32×3	41	240	350	310	1170	18	△
М–280L–6	160	72	4	10	6	11+12	1,32×4	55	290	350	375	1300	18	△
М–200М–8	22	72	3	7	2	16+16	1,18×2	14,8	47	340	195	680	24	△
М–200L–8	30	72	3	7	2	12+12	1,32×2	17,2	64	340	245	780	24	△
М–225М–8	37	72	3	7	4	24+24	1,12×2	22,5	77	372	220	740	24	△

Данные Болгарских электродвигателей серии, М, АОМ 380 *в*.
(продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*КГ*	сх
М–250S–8	45	72	3	7	4	21+21	1,18×2	23,5	93	300	205	750	24	△
М–250М–8	55	72	3	7	4	18+18	1,32×2	27	112	300	240	820	24	△
М–280S–8	75	72	3	7	4	14+14	1,4+1,5	28,5	148	350	260	935	24	△
М–280М–8	90	72	3	7	4	12+12	1,4×3	37	177	350	310	1035	24	△
М–280МL–8	110	72	3	7	4	11+11	1,4×4	46,5	225	350	330	1075	24	△
М–280LK–8	125	72	3	7	4	10+10	1,7×3	48	250	350	375	1160	24	△
М–280L–8	132	72	3	7	4	9+9	1,5×4	51	265	350	395	1200	24	Y
АОМ–40–2	1,7	24	2+2	10	1	58	1,06	3,5	104	104	65	380	6	Y
АОМ–51–2	7,5	24	4	9	1	16+16	1,4+1,5		139	139	110	680	6	Y
АОМ–52–2	10	24	4	9	1	11+11	1,4×3		139	139	160	780	6	Y
АОМ–32–4	1,3	24	2	6	1	76	0,85	2	89	89	105	440	6	Y
АОМ–41–4	2,2	36	3	9	1	52	1,12	3,8	112	112	80	440	6	Y
АОМ–412–4	2,8	36	3	9	1	41	1,18	3,8	112	112	95	470	6	Y
АОМ–52–4	4,5	36	3	9	1	35	1,18×2	6,9	152	152	70	540	6	Y
АОМ–51–4	7	36	3	9	1	27	1,32×2	7,7	152	152	110	620	6	Y
АОМ–52–4	10	36	3	9	1	19	1,6×2	9	152	152	160	720	6	Y
АОМ–41–6	1,3	36	2	6	1	73	0,95	2,9	112	112	80	370	9	Y

Данные Болгарских электродвигателей серии АМ 380 *в* △.

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*кг*
АМ–61–2	12,5	36	6	12	2	32+32	1,32	12				6
АМ–62–2	18	36	6	12	2	24+24	1,6	14				6
АМ–71–2	25	36	6	12	2	22+22	1,12×3	20				6
АМ–72–2	36	36	6	12	2	16+16	1,4×3	21				6
АМ–81–2	55	36	6	12	2	11+11	1,5×4	29	108	230	165	6
АМ–82–2	75	36	6	12	2	9+9	1,7×4	23	140	230	210	6
АМ–91–2	100	36	6	12	2	8+8	1,6×6	45	191	273	202	6
АМ–92–2	130	36	6	12	2	6+6	1,8×6	47	238	273	285	6
АМ–62–4	12,5	36	3	7	1	18+18	1,25×2	11				12
АМ–71–4	18	36	3	7	2	29+29	1,18×2	15				12
АМ–72–4	25	36	3	7	2	22+22	1,32×2	17				12
АМ–81–4	40	36	3	7	2	17+17	1,4×3	23	77	273	165	12
АМ–82–4	55	36	3	7	2	13+13	1,6×3	27	106	273	210	12
АМ–91–4	75	48	4	10	2	9+9	1,9×3	36	142	310	190	12
АМ–92–4	100	48	4	10	4	12+12	1,6×3	41	190	310	285	12
АМ–101–4	130	48	4	10	4	11+11	1,7×3	47	243	368	330	12
АМ 102–4	160	48	4	10	4	9+9	1,8×3	49	294	368	405	12
АМ–103–4	190	48	4	10	4	8+9	1,6×6	71	353	368	405	12
АМ–71–6	12,5	54	3	7	2	29+29	1,4	13				18
АМ–72–6	18	54	3	7	3	33+33	1,32	15				18
АМ–81–6	28	54	3	7	3	23+23	1,18×2	20	59	290	165	18
АМ–82–6	40	54	3	7	6	35+35	1,5	27	82	290	210	18
АМ–91–6	55	54	3	7	2	11+11	1,6×3	30	109	350	202	18
АМ–92–6	75	54	3	7	3	12+12	1,9×2	37	145	350	285	18
АМ–101–6	100	54	3	7	6	19+19	1,7×2	55	194	400	330	18
АМ–102–6	130	54	3	7	6	16+16	1,9×2	63	247	400	405	18

Данные Болгарских электродвигателей серии АМ 380 *в* △.
(продолжение)

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*кг*
АМ–81–8	20	48	2	5	2	24+24	1,32×2	20	43	220	165	24
АМ–82–8	28	48	2	5	2	17+17	1,6×2	26	60	290	210	24
АМ–91–8	40	48	2	5	4	32+32	1,25×2	29	85	350	202	24
АМ–92–8	55	72	3	7	4	22+22	1,6×2	37	112	350	285	24
АМ–101–8	75	72	3	7	4	14+14	1,8×2	55	145	400	330	24
АМ–102–8	100	72	3	7	4	11+11	1,7×3	64	192	400	405	24

Данные Болгарских электродвигателей серии А, АК 380 *в* △.

Тип	*P, кВт*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d (a×b)*	*G*	*I*	*Di*	*L*	*l*	*кг*	*сх*
А–(к)–111–4	520	60	5	12	4	9+9	4,1×2,1 ×2	126	456	468	220	1540	12	△
А–(к)–112–4	320	60	5	13	4	7+7	4,1×2,63 ×2	139	575	468	275	1720	12	△
А–113–д	250	72	4	10	6	5+6	4,4×2,26 ×2	133	452	524	340	1600	18	Y
А–114–д	320	72	4	11	3	4+5	4,4×3,53 ×2	164	568	524	440	1800	18	△
А–103–8	125	72	3	9	4	5+6	3,05×2,44 ×2	89	236	430	340	1770	24	Y
А–(к)–114–8	250	72	3	8	4	4+4	4,1×1,81 ×4	125	452	550	440	1660	24	Y
А–102–10	75	90	3	9	2	4+4	2,63×3,8 ×2	81	155	444	275	1270	30	Y
А–103–10	100	90	3	9	2	3+3	2,63×5,1 ×2	97	202	444	385	1490	30	Y
А(к)–112–10	125	90	3	8	2	3+3	2,63×3,28 ×4	102	237	550	275	1240	30	Y
А(к)–113–10	160	90	3	8	5	6+6	2,63×3,28 ×2	113	304	450	340	1370	30	Y
А–114–10	200	90	3	8	5	5+5	2,63×3,8 ×2	126	373	450	440	1570	30	Y
АК–101–4	125	60	5	12	4	7+7	3,05×2,26 ×2	70	235	364	220	1290	12	Y
АК–102–4	160	60	5	12	2	5+5	3,05×3,28 ×2	79	299	364	275	1400	12	△
АК–102–6	160	72	4	10	3	5+5	2,83×2,83 ×2	67	189	410	275	1160	18	Y
АК–103–6	125	72	4	11	3	4+4	2,83×3,53 ×2	77	234	410	340	1280	18	Y
АК–104–6	160	72	4	9	2	4+4	2,83×3,53 ×2	81	294	410	440	1460	18	Y
АК–112–6	200	72	4	10	3	4+4	4,4×3,8 ×2	130	367	524	275	1420	18	Y
АК–114–6	320	72	4	11	3	5+6	4,4×263 ×2	154	434	524	440	1750	18	Y
АК–102–8	75	72	3	8	4	9+9	3,05×1,56 ×2	68	149	430	275	1200	24	Y
АК–103–8	100	72	3	8	4	7+7	3,05×2,1 ×2	77	198	430	340	1330	24	Y
АК–104–8	125	72	3	7	4	6+6	3,05×2,63 ×2	91	242	430	440	1530	24	Y
АК–112–8	160	72	3	8	4	6+6	4,1×2,44 ×2	100	309	550	275	1290	24	Y
АК–114–8	250	72	3	8	5	4+4	4,1×1,81 ×4	125	467	550	440	1620	24	Y
АК–102–10	55	90	3	9	5	10+11	2,63×1,25 ×2	69	119	444	275	1130	30	Y
АК–104–10	100	90	3	8	5	7+7	2,63×1,95 ×2	89	207	444	440	1460	30	Y

В электродвигателе ВАО (122) 450М–10, $N = 6 + 8$, $q = 2{,}4 = 2\frac{2}{5} = 2$ и 3, чередование КГ – 2, 3, 2, 2, 3 и т. д. повторяясь 6 раз, а чередование в КГ секций (катушек) двоек – 8, 6 и троек – 6, 8, 6, при этом пазы заполняются числом эффективных проводников – 12, 14, 14, 14, 14, 14 и т. д. повторяясь 12 раз.

В электродвигателях Болгарского производства М315МК–4 250 *кВт*, чередование в КГ секций – 8, 7, 7, 8, 8 с размещением в пазах эффективных проводников – 16, 15, 15, 15, 15… и т, д, повторяясь 12 раз. М315М–4, 315 *кВт* чередование в КГ секций – 6, 7, 7, 6, 6, а проводники в пазах разместятся 12, 13, 13, 13, 13, и т. д. повторяясь 12 раз.
М280ML–4 (8,4 + 8,4) 5 = (8 + 9) 5 – чередование; в КГ – 8, 9, 9, 8, 8, в пазах – 16, 17, 17, 17, 17.

Графа *P, кВт* означает мощность электродвигателя. Z – число пазов статора.
q – число пазов на полюс и фазу (число секций в катушечной группе): одна цифра – целое число, две цифры через "и" – дробное число, две цифры через плюс – "развалка".
y – шаг обмотки: одна цифра – одинаковые шаги, две цифры через "и" – разные шаги.
a – число параллельных ветвей.
N – число эффективных проводников в пазу статора: одна цифра – однослойная обмотка, две цифры через плюс – двухслойная обмотка, цифра через знак умножения или за скобками – число элементарных (параллельных) проводников в эффективном проводнике.
d – диаметр обмоточного провода: одна цифра – одинаковые диаметры, две цифры через плюс – разные диаметры проводов.
G – вес провода обмотки в *кг*. I – номинальная сила тока в амперах.
Di – диаметр расточки сердечника статора в *мм*. L – длина сердечника статора в *мм*.
b – ширина зубца сердечника статора в *мм*. h – высота спинки сердечника статора в *мм*.
l – средняя длина витка секции в *мм*. КГ – число катушечных групп обмотки.
Соединение – сопряжение фаз Y или △.
При дробном числе пазов на полюс и фазу (q), независимо от величины целого числа, чередование малых (М) и больших (Б) катушечных групп (КГ) производится с периодическим повторением: с дробью 0,5 = ½ – М, Б, и т. д, с дробью 0,2 = ⅕ – М, М, М, М, Б, и т. д., с дробью 0,25 = ¼ – М, М, М, Б, и т. д, с дробью 0,4 = ⅖ – М, Б, М, М, Б, и т. д.
Можно эти чередования КГ производить наоборот. Разновитковые секции в КГ чередуются: при любом – q с нечетным шагом (y) – через одну, а при четном – q с четным шагом (y) – попарно.

Часть II. Замена обмотки многоскоростных электродвигателей.

Предисловие

Многоскоростные электродвигатели выпускаются с полюснопереключаемыми обмотками (ППО), частичный ремонт и полная замена которых проводятся по более сложным схемам в сравнении с односкоростными. Большое разнообразие схем полюсно–переключаемых обмоток и в связи с тем, что в существующей литературе они выполнены развернутыми с расположением сторон катушек (секций) по пазам статора, затрудняется практическое их выполнение. В справочном пособии для удобства и упрощения использования существующие схемы изменены и выполнены условными катушечными группами, что значительно облегчает работу по замене полюсно–переключаемых обмоток. Помимо этого приведен простой метод расчета обмоточных данных для электродвигателей, не имеющих каталогов, а также помещены обмоточные данные многоскоростных электродвигателей серии АИР, 4А, АО2, типа Т, лифтовых и высокочастотных преобразователей. Пособие предназначено для мастеров практиков и обмотчиков.

1. Назначение и особенности многоскоростных электродвигателей.

Многоскоростные электродвигатели применяются в приводах станков и различных агрегатов, не имеющих специальных устройств для изменения числа оборотов. Выпускаются они с короткозамкнутым ротором; двух– трех– и четырехскоростные, с переключением числа полюсов обмотки статора. В зависимости от отношения полюсов, сложности схем и года выпуска многоскоростных электродвигателей, их статоры выполнены в четырех вариантах: независимыми друг от друга односкоростными обмотками на две, три, даже четыре частоты вращения; с одной или двумя полюсно–переключаемыми обмотками (ППО), в первом случае двухскоростными, а во втором – четырехскоростными; с наличием трех частот вращения электродвигателя, одна обмотка изготовлена полюсно–переключаемой – двухскоростной, а вторая – односкоростной, независимой – на любое число полюсов; с одной полюсно–переключаемой обмоткой на три или четыре частоты вращения.
Если во многоскоростном электродвигателе имеется несколько самостоятельных обмоток последовательного соединения, сопряжением фаз в звезду, то порядок и последовательность их укладки в статор, а также размещение в них катушечных групп безразлично, тогда как при наличии параллельных ветвей или сопряжений фаз в треугольник, несоблюдение указанного может привести к ненормальной работе электродвигателя, о чем будет изложено ниже.
Электродвигатели с самостоятельными обмотками имеют плохое использование и заполнение пазов из–за наличия большого количества проводов и прокладок, что значительно снижает мощность по ступеням скоростей.
Наличие в статоре двух полюсно–переключаемых обмоток и особенно одной на три или четыре частоты вращения улучшает заполнение пазов и позволяет более рационально использовать сердечник статора, в результате чего повышаются мощности электродвигателя. Для электродвигателей небольшой мощности полюсно–переключаемые обмотки выполняются последовательно по схемам Y/Y, △/Y, Y/△, △/△ а также △/YY, Y/△△, YY/△, YY/Y, Y/YY, YYY/YYY и т. п.
Несмотря на наличие в схемах нескольких знаков, которые указывают запаралеленные двойные или тройные звезды и треугольники, такие обмотки считаются последовательными, так как катушечные группы каждой части фазы включены последовательно (см. рис. 1*а*, 2*а*, 3*а*).

В электродвигателях большой мощности с полюсно–переключаемыми обмотками параллельные ветви считаются в том случае, если в схемах, включенных в треугольник или звезду, катушечные группы каждой части фазы по две или более соединены между собой параллельно (рис. 2*б*, 3*б*). В этом случае в каталогах и схемах помимо знаков сопряжения фаз должно быть указано число параллельных ветвей a = 2 или a = 3. Отсутствие пометки параллельных ветвей означает, что обмотка сопряжена выводами в две, три звезды или треугольника, что свидетельствует о том, что они запаралелены на определенной скорости. Приведенные схемы полюсно–переключаемых обмоток имеют число выводов от 6 до 22, в зависимости от соотношения полюсов.
Переключение выводов обмоток производится специальными барабанными переключателями, изготовленными на разные варианты.
По сложности выполнения схем многоскоростные электродвигатели подразделяются на две части: с отношением полюсов равным 2/1 и – не равными 2/1. К первым относятся электродвигатели с частотой вращения – 1500/3000 *об. мин.* или $2p$ = 4/2, 750/1500 *об. мин.* или $2p$ = 8/4, 500/1000 *об. мин.* или $2p$ = 12/6 и т. д. а ко вторым – 1000/1500 *об. мин.* или $2p$ = 6/4, 750/1000 *об. мин.* или $2p$ = 8/6, 1000/3000 *об. мин.* или $2p$ = 6/2, 750/3000 *об. мин.* или $2p$ = 8/2, 600/3000 *об. мин.* или $2p$ = 10/2, 375/1500 *об. мин.* или $2p$ =1 6/4 и т. д.
Полюснопереключаемые обмотки с отношением полюсов равным 2/1 и особенно при $2p$ = 4/2 выполняются двухслойными, а при отношении полюсов 3/2 и менее могут быть однослойными в развалку. Если в быстроходном электродвигателе выполнить обмотку статора однослойной в развалку, то при пятидесятипроцентном укорочении шага ротор двигателя может не развернуться или, начав вращаться, застрянет на одной из низших ступеней оборотов. Иногда даже с двухслойной обмоткой при отношении полюсов равными 2/1 принимается для большего числа полюсов шаг не диаметральный, а на одни паз удлиненный, тогда и при меньшем числе полюсов шаг будет увеличен, что улучшит запуск электродвигателя.
В зависимости от выбора схемы полюсно–переключаемой обмотки, при разном числе полюсов, электродвигатель может быть с постоянной мощностью или с постоянным моментом. Электродвигатели с ППО и постоянной мощностью имеют следующие схемы: Y/Y, △/△, YY/△, △/YY, YY/YY; △△/△△, YYY/YYY и т. д. В этом случае число витков в фазах при обеих числах полюсов будет одинаково или близко друг к другу, значит их токи и мощности будут одинаковы или близки *P квт* = постоянной. Вращающие моменты их будут разные, зависящие от числа оборотов.
Электродвигатели с постоянным моментом имеют такие схемы: △/△△, Y/YY, Y/△, YY/△△, YYY/△△△ и т. д. В этом случае при меньшем числе полюсов катушечные группы, разделенные на две части в каждой фазе, включаются в двойной треугольник или двойную звезду параллельно, в результате чего число витков в фазе уменьшается, а сечение проводов, ток и мощность увеличиваются в два раза. При переключении с больших на меньшее число полюсов по схеме Y/△ число витков уменьшается, а ток и мощность увеличатся в 1,73 раза. Значит при большей мощности и больших оборотах, а также при меньшей мощности и меньших оборотах вращающие моменты будут одинаковыми M = постоянный.

2. Обмотки для многоскоростных электродвигателей.

2. 1. Полюсно–переключаемые обмотки с отношением полюсов равным 2/1.

Эти полюсно–переключаемые обмотки простые, имеют соединение выводов обмотки треугольник–двойная звезда (△/YY) по схеме Даландера в основном с постоянной мощностью. Ее простота заключается в том, что при составлении существует определенная закономерность, так как катушечные группы остаются в своих фазах, все одинаковые и не делятся на части при переключении, поэтому для каждой фазы указаны условные КГ разными фигурами □ △ ◯.

Число катушечных групп на фазу (КГф) и число пазов на полюс и фазу (q) (число секций в катушечной группе), определяется по меньшему числу полюсов, т.е. КГф = $2p$ меньшее, $q = Z/3{\times}2p$ меньшее, а шаг обмотки (y) принимается по большему числу полюсов $y = Z/2p$ большее. Обмотка выполняется двухслойной.

Для изменения числа полюсов достаточно в полюсно–переключаемой обмотке изменить направление тока в половине катушечных групп каждой фазы, что достигается как при последовательном, так и при параллельном соединении. Обмотка при большем числе полюсов соединяется в треугольник (△), но так как число катушечных групп вполовину меньше, чем их должно быть при двухслойной обмотке, то они соединяются как при однослойной обмотке – концы с началами, что создает необходимое число полюсов. Для обеспечения одностороннего вращения ротора при разных полюсах за начало фаз в обмотке с большим числом полюсов принимаются начала катушечных групп 1–й, 5–й; 9–й, при этом расстояние между началами фаз будет не 120, а 240 электрических градусов.

При составлении схемы катушечные группы делятся на две части в каждой фазе, и концы соединяются с началами, в одну часть нечетные, а во вторую – четные. Части фаз соединяют конец первой с началом второй, а места их соединения в точках А, В, С являются началами выводов для обмотки с меньшим числом полюсов. Соединение схемы обмотки для большего числа полюсов в треугольник производится путем объединения фаз – конца первой с началом второй, конца второй с началом третьей, конца третьей с началом первой.

При включении выводов обмотки на меньшее число полюсов вывода обмотки с большим числом полюсов замыкаются между собой, что образует двойную звезду. Полюсно–переключаемые обмотки с отношением полюсов равным 2/1 по схеме Даландера △/YY применяются для всех серий электродвигателей с соответственным числом полюсов в зависимости от числа пазов статора. Такие схемы с условными катушечными группами при последовательном соединении, а также дополнительно в треугольник и двойную звезду с последовательным и параллельным соединением показаны на рис. 1, 2, 3. Так как катушечные группы указаны условными, то этими схемами можно пользоваться для любого числа пазов статора. На рис. 1*а* приведена схема последовательной двухслойной двухскоростной ППО на $2p = 4/2$

при $Z = 24$, $q = 4$, $y = 6$ (1–7) или $y = 7$ (1–8) КГ = 6

при $Z = 36$, $q = 6$, $y = 9$ (1–10) или $y = 10$ (1–11) КГ = 6

при $Z = 48$, $q = 8$, $y = 12$ (1–13) или $y = 13$ (1–14) КГ = 6

На рис. 2 приведены схемы двухслойных двухскоростных ППО последовательно и в две параллельные ветви на $2p = 8/4$.

при $Z = 36$, $q = 3$, $y = 5$ (1–6), КГ = 12

при $Z = 48$, $q = 4$, $y = 6$ (1–7), КГ = 12

при $Z = 54$, $q = 4{,}5$, $y = 7$ (1 –8), КГ = 12

при $Z = 72$, $q = 6$, $y = 9$ (1–10), КГ = 12

При $Z = 54$ получается дробное число пазов на полюс и фазу, поэтому обмотку выполнить можно только последовательной, при этом половина катушечных групп заготовляется по пять секций, и половина – по четыре секции, а укладка их чередуется 5, 5, 4, 4, 5, 5, 4, 4, 5, 5, 4, 4, что позволяет во всех трех фазах получить одинаковое число секций.

На рис. 3 приведены схемы двухскоростных двухслойных ППО последовательно и в три параллельные ветви на $2p = 12/6$

при $Z = 54$, $q = 3$, $y = 5$ (1–6), КГ = 18

при $Z = 72$, $q = 4$, $y = 6$ (1–7), КГ = 18

На рис. 1*б* показана схема барабанного переключателя для всех полюсно–переключаемых двухскоростных обмоток с отношением полюсов 2/1,

1–е положение – включение в треугольник (△);

2–е положение – включение в двойную звезду (YY). При этом *М* – меньшее число полюсов, *Б* – большее число полюсов.

Полюсно–переключаемые двухскоростные двухслойные обмотки с отношением полюсов 2/1 соединением △/YY можно выполнять по схеме двойная звезда–треугольник (YY/△). Разница заключается в том, что обмотка с меньшим числом полюсов включается в треугольник (△), а с большим числом полюсов – в двойную звезду (YY).
Кроме того, для получения меньшего числа полюсов при соединении обмотки в треугольник, направление тока во вторых половинах фаз с четным числом катушечных групп изменяется, а при двойной звезде для обмотки с большим числом полюсов направление тока в катушечных группах будет одинаково, что достигается соединением концов с началами частей фаз четных и нечетных катушечных групп в треугольнике. При включении обмотки с большим числом полюсов, вывода в обмотке с меньшим числом полюсов замыкаются. Эта обмотка сложнее схемы Даландера, поэтому применяется редко, но ее можно встретить в схемах А. М. Харитонова – в обмотках с отношением полюсов не равных 2/1 с дополнительной обмоткой (рис. 4), где вторая обмотка добавляется для получения только $2p = 6$, а подключается в точках А, В, С.

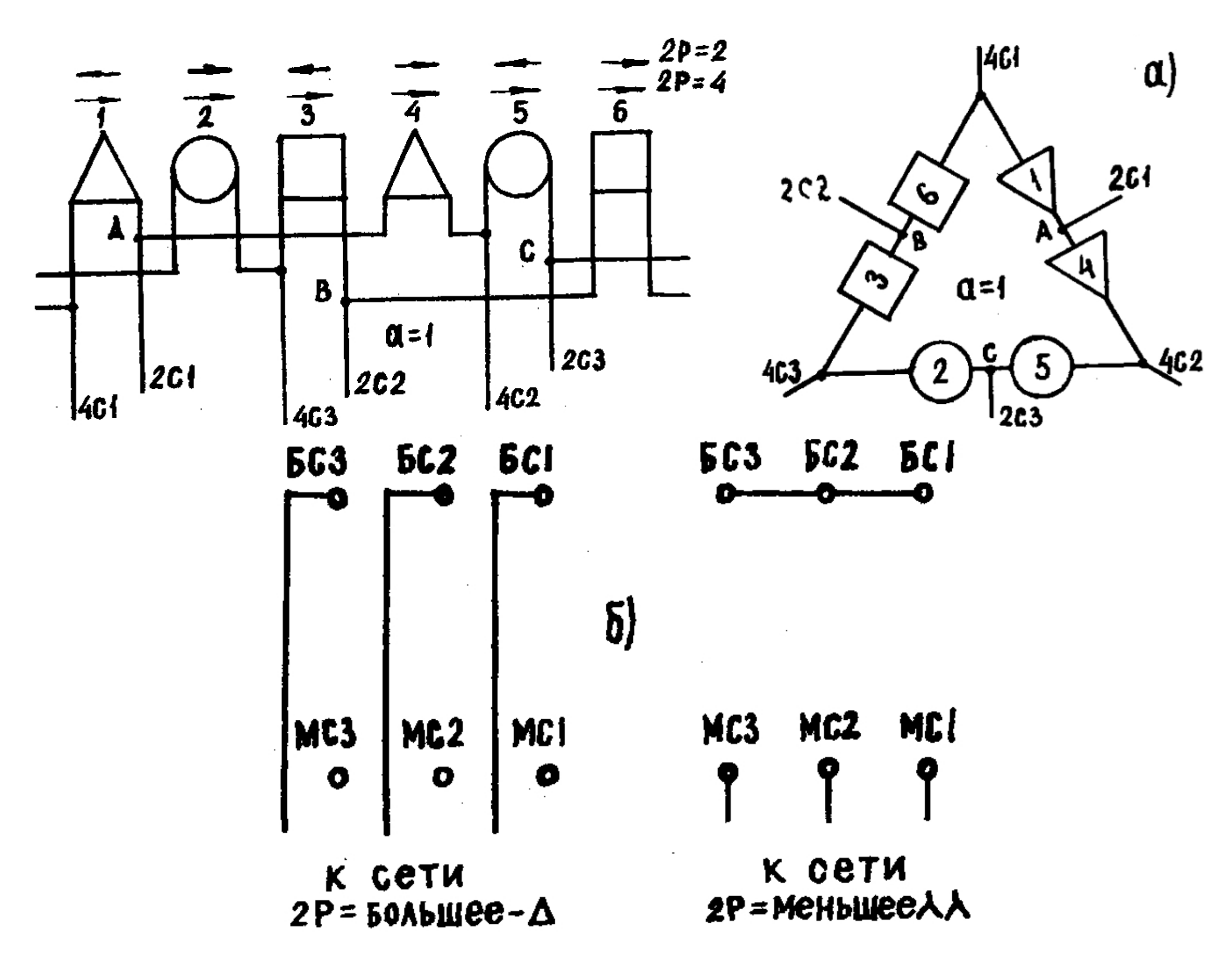


Рис. 1. Схема Даландера двухскоростной двухслойной равносекционной ППО с условными КГ = 6 и расположением их в фазах треугольника последовательно
$a = 1$, $2p = 4/2$, △/YY
б) Схема барабанного переключателя скоростей ППО $2p = 4/2, 8/4, 12/6$, △/YY

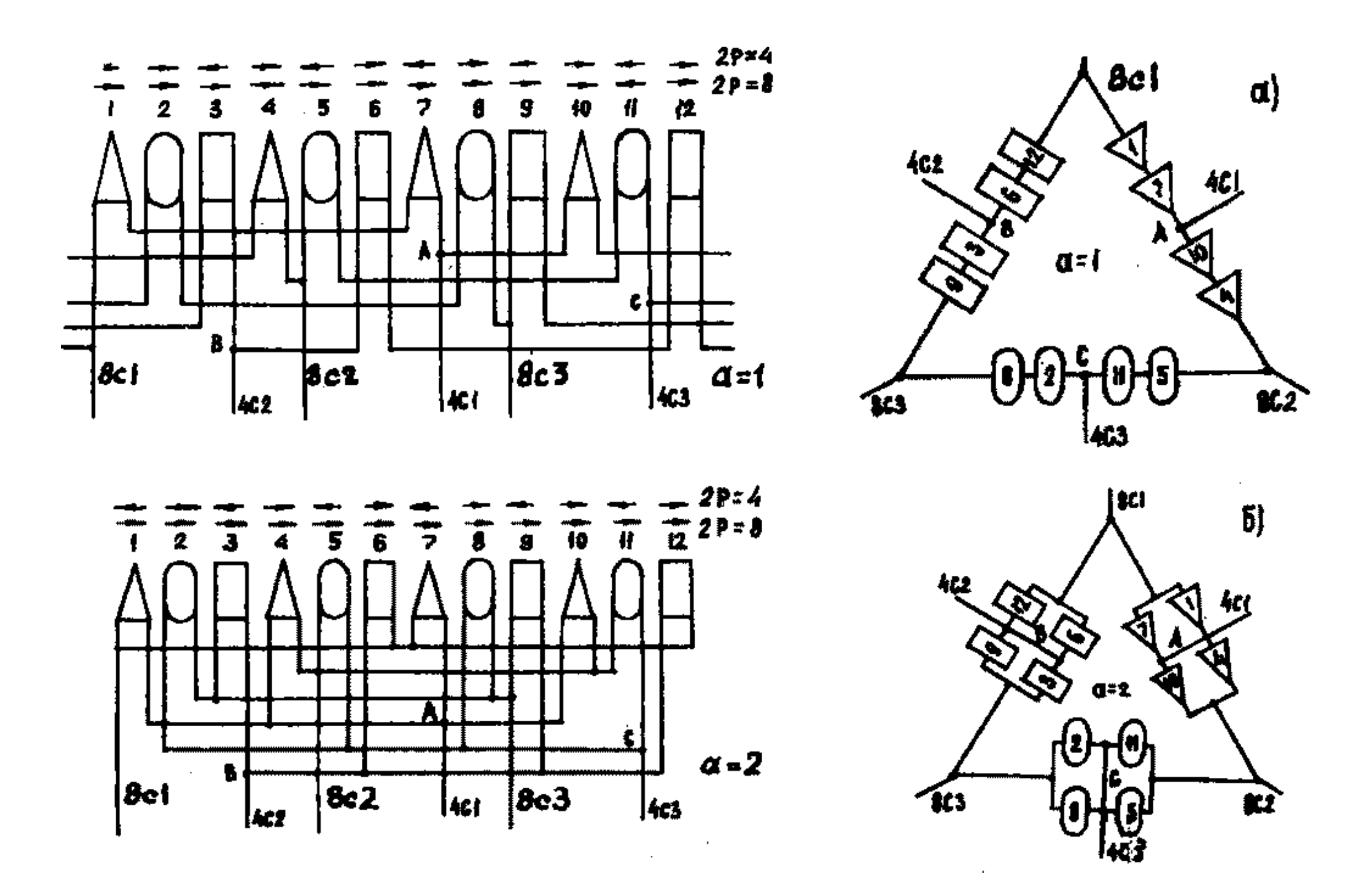


Рис. 2. Схема Даландера двухскоростной двухслойной равносекционной ППО с условными КГ = 12 и расположением их в треугольнике, $2p$ = 8/4, △/YY
а) последовательно a = 1, б) в две параллельные ветви a = 2.

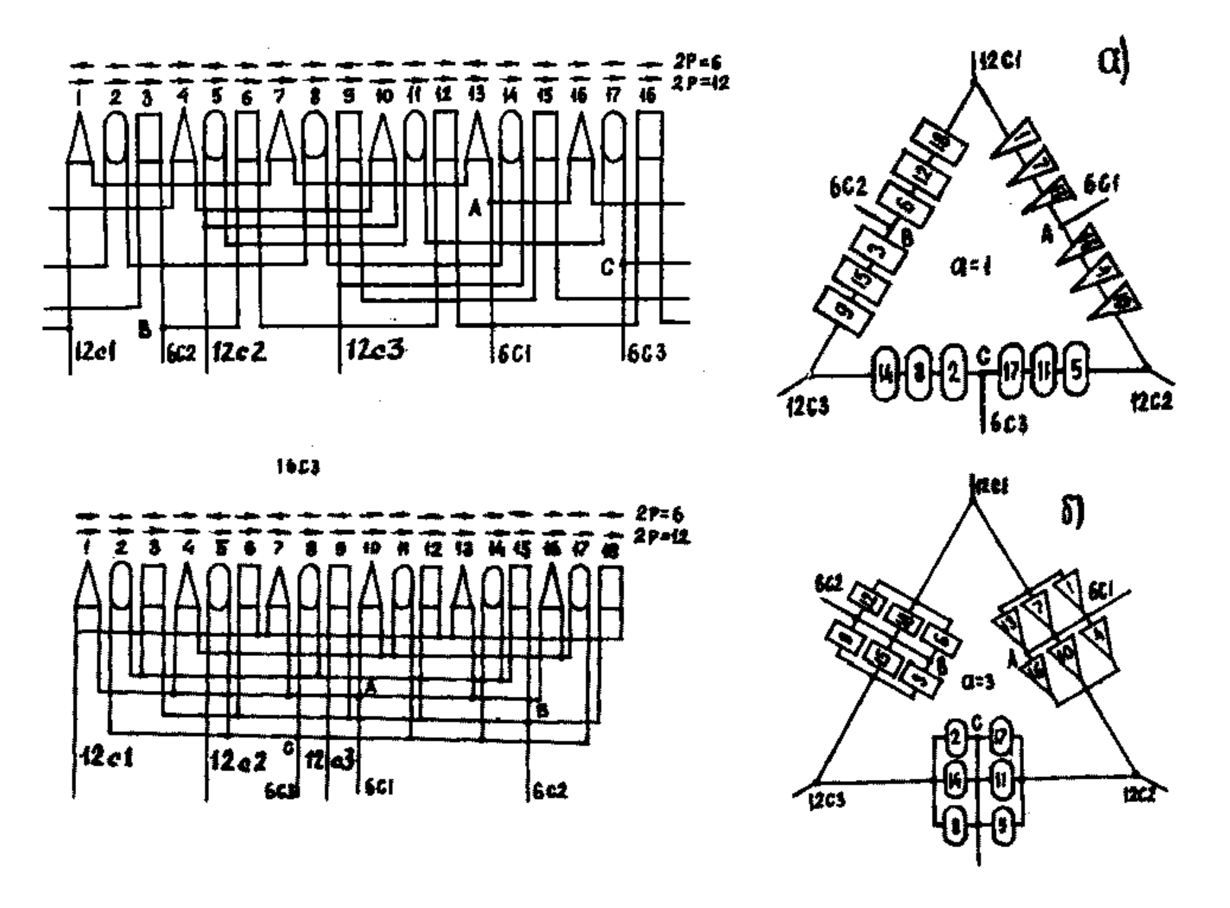


Рис. 3. Схема Даландера двухскоростной двухслойной равносекционной ППО с условными КГ = 18 и расположением их в фазах треугольника, $2p$ = 12/16, △/YY
а) последовательно a = 1, б) в три параллельные ветви a = 3.

2. 2. Полюсно–переключаемые обмотки с отношением полюсов не равным 2/1.

Такие обмотки являются более сложными. Для получения определенной схемы обмотки необходимо подбирать число и размер катушечных групп и располагать их по окружности статора. В связи с этим схемы становятся не только сложными, но и громоздкими, не поддающиеся никакой закономерности, а образующиеся полюса при этом зачастую получаются не симметричными и разными по величине.
Для разных серий электродвигателей существуют различные схемы. Так, для ранее выпускаемых электродвигателей серии А и А2 с отношением полюсов не равными 2/1 не применялись полюсно–переключаемые обмотки на две и более частоты вращения, а выполнялись для каждого числа оборотов самостоятельные (независимые) односкоростные обмотки. Для серии 4А многоскоростные электродвигатели с отношением полюсов не равным 2/1 выполняются следующими обмотками: с тремя нулевыми точками, по схеме А. М. Харитонова и принципу амплитудно–фазной модуляции (см. А. Э. Кравчик "Асинхронные двигатели серии 4А", справочник. "Энергоиздат", 1982, с. 484–497).
Новые обмотки в названном справочнике приведены в развернутом виде по пазам без указания числа катушечных групп и числа пазов на полюс и фазу. Такими схемами обмотчикам трудно пользоваться и на составление практических схем требуется много времени. Схемы дополнительно усложняются из–за переключения части КГ из одной фазы в другую.
Учитывая это, все схемы переработаны и приспособлены для практического пользования, с условными катушечными группами в виде только прямоугольников (□).

2. 2. 1. Полюсно–переключаемая обмотка по схеме А. М. Харитонова с числом полюсов $2p = 6/4$

Обмотка выполняется на шесть выводов соединением двойная звезда–треугольник (YY/△) и состоит из двух частей. Первая основная двухслойная обмотка включается без дополнительной обмотки в треугольник (△), для меньшего числа полюсов – $2p = 4$. Параметры обмотки в зависимости от числа пазов статора:

при $Z = 54$, $q = 3$, $y = 9$ (1–10), КГ = 18

при $Z = 72$, $q = 4$, $y = 13$ (1–14), КГ = 18

Вторая дополнительная обмотка выполняется однослойной равносекционной или концентрической путем соединения звездой, подключается при работе электродвигателя на большем числе полюсов $2p = 6$ к основной обмотке
в точках А, В, С, переключенной из треугольника в двойную звезду. Дополнительная обмотка изолирована от основной и может быть выполнена по параметрам в зависимости от числа полюсов:

для $Z = 54$, $q = 3$, $y = 9$ (1–10), КГ = 9

для $Z = 72$, $q = 4$, $y = 12$ (1–13), КГ = 9

При включении обмотки на $2p = 6$ вывода на $2p = 4$ замыкаются, при этом в ППО образуются две звезды (две параллельные ветви) для основной обмотки. Дополнительная обмотка, подключаемая к основной в точках А, В, С, имеет последовательное соединение. Такая обмотка применяется в двухскоростных электродвигателях 4А180М и 4А200М с числом полюсов $2p = 6/4$ для числа пазов $Z = 54$ и $Z = 72$ (см. рис. 4).

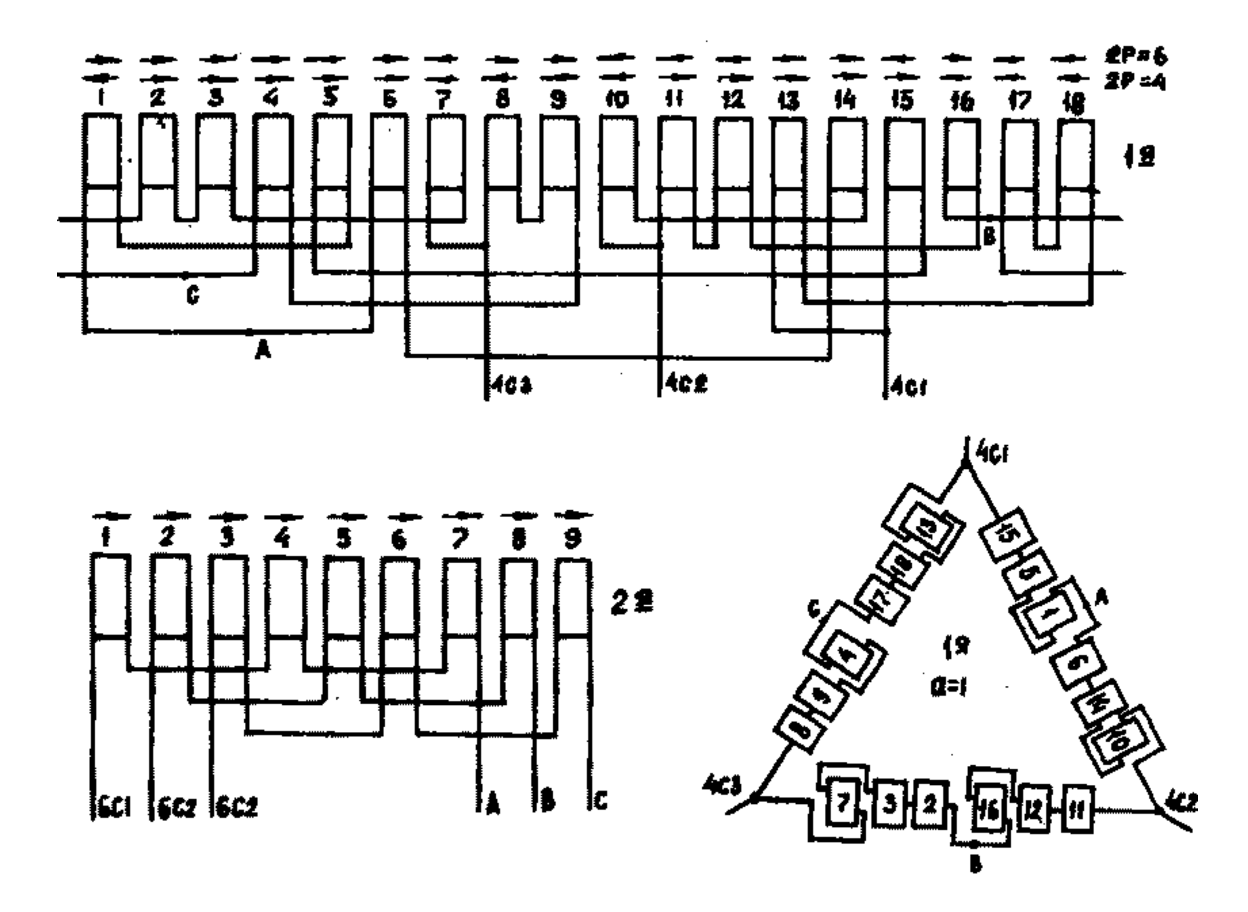
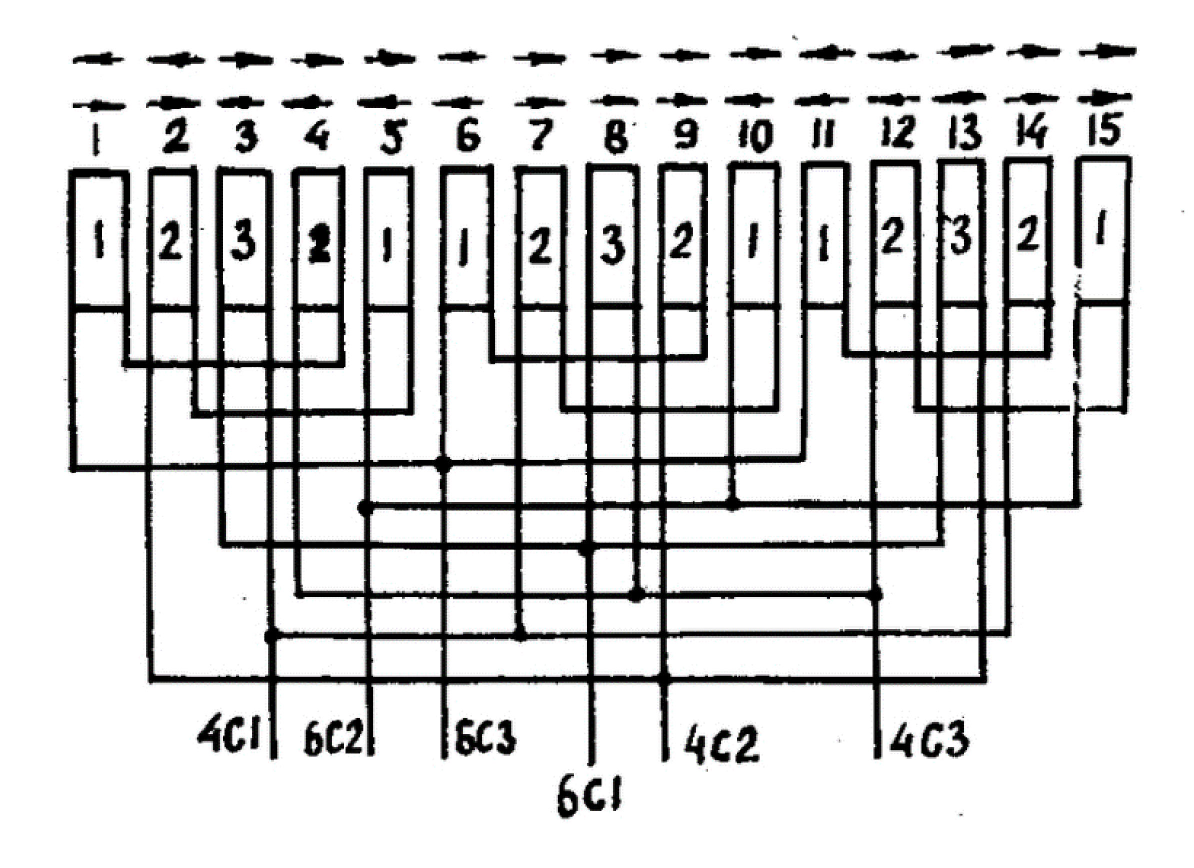


Рис. 4. Схема Харитонова двухобмоточной двухскоростной ППО 2p = 6/4, YY/△,
1–я основная двухслойная равносекционная обмотка с условными КГ = 18 и расположением их в фазах треугольника на 2p = 4, △, при Z = 54, q = 3, y = 9 (1 –10) при Z = 72, q = 4, y = 13 (1 –14),
2–я дополнительная однослойная равносекционная обмотка при Z = 54, q = 4, y = 9 (1–10), при Z = 72, q = 4, y = 12 (1–13), подключается только для 2p = 6, Y, в точках A, B, C, YY+Y.

2. 2. 2. Полюсно–переключаемые обмотки с тремя нулевыми точками.

Эти обмотки выполняются на шесть выводов соединением тройная звезда–тройная звезда (YYY/YYY). На рис. 5 приведена двухскоростная ППО с тремя нулевыми точками, соединением YYY/YYY, 2p = 6/4, выполненная равносекционной полутораслойной обмоткой, q = 1, 2, 3, Z = 36, с диаметральным шагом y = 6 (1–7), при 2p = 6. Общее количество катушечных групп – 15, из них 6 – единиц с половинными секциями, 6 – двоек, с одной полной и одной половинной секцией, из них 4–я, 9–я и 14–я катушечные группы с полной наружной секцией, а 2–я с половиной наружной секцией; 3–тройки с полной секцией в середине и двумя половинными (внешняя и внутренняя), с чередованием КГ – 1, 2, 3, 2, 1, 1, 2, 3, 2, 1, 1, 2, 3, 2, 1. Все катушечные группы укладываются в пазы статора, начиная с половинных секций, кроме двоек 4–й, 9–й и 14–й. Эта обмотка применяется для электродвигателей серии 4А112 и 132 S и M.
На рис. 6 показана двухскоростная ППО с тремя нулевыми точками 2p = 8/6, соединением YYY/YYY. Обмотка однослойная равносекционная – "в развалку", q = 2 = 1+1, y = 5 (1–6), КГ =18, применяется для электродвигателей 4А100 S и L. На рис. 7 дана двухскоростная ППО с тремя нулевыми точками 2p = 8/6, соединением YYY/YYY, Z = 54, q = 1, 2, 3, y = 7 (1–8), КГ = 33, из них 18 – единиц, 9 двоек и 6 троек с чередованием КГ = 3, 2, 3, 1, 1, 2, 1, 1, 2, 1, 1, 3, 2, 3, 1, 1, 2, 1, 1, 2, 1, 1, 3, 2, 3, 1, 1, 2, 1, 1, 2, 1, 1. Обмотка применяется для серии 4А с высотой оси электродвигателей 160 *мм*.



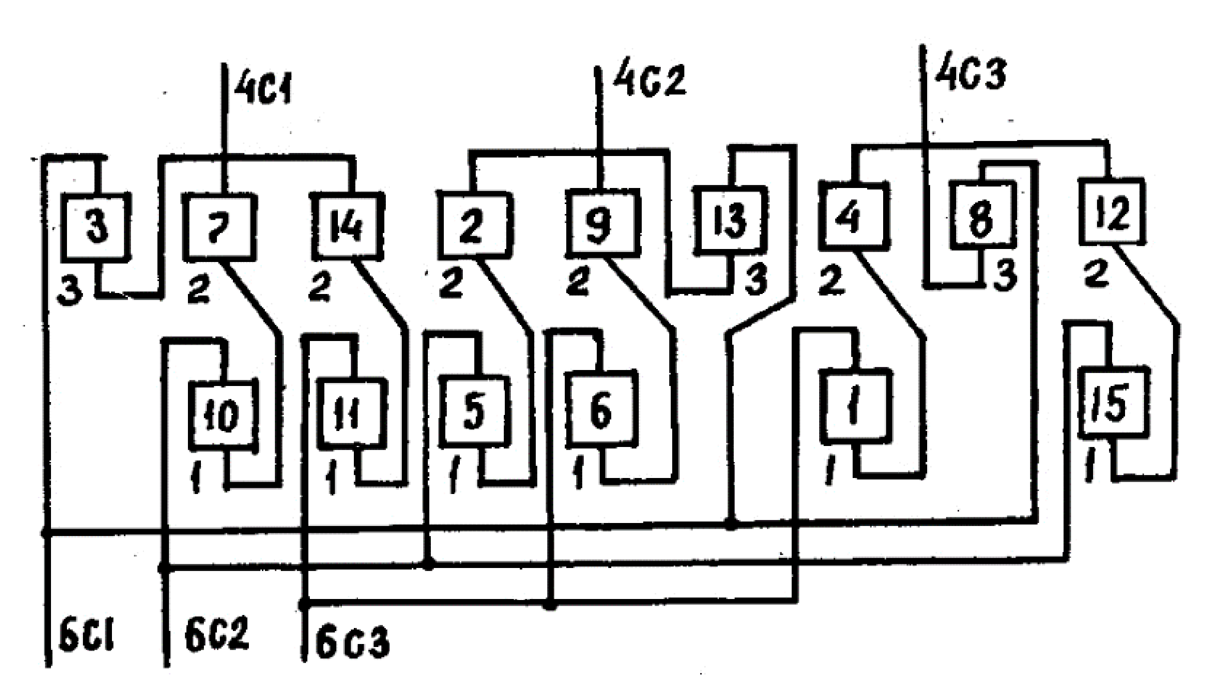
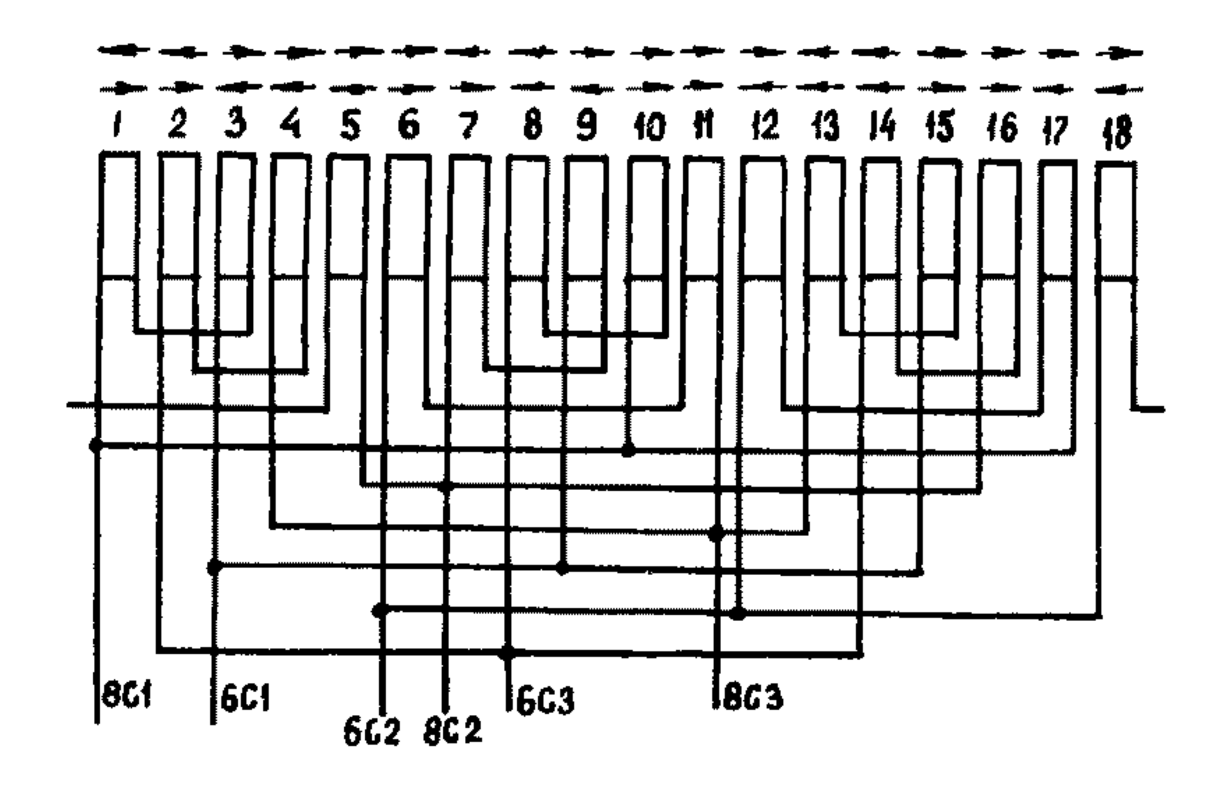


Рис. 5. Схема с тремя нулевыми точками двухскоростной полутораслойной равносекционной ППО с условными КГ = 15 и расположением их в фазах тройной звезды, $2p = 6/4$, YYY/YYY, $Z = 36$, $q = 1, 2, 3$, $y = 6$ (1 – 7).



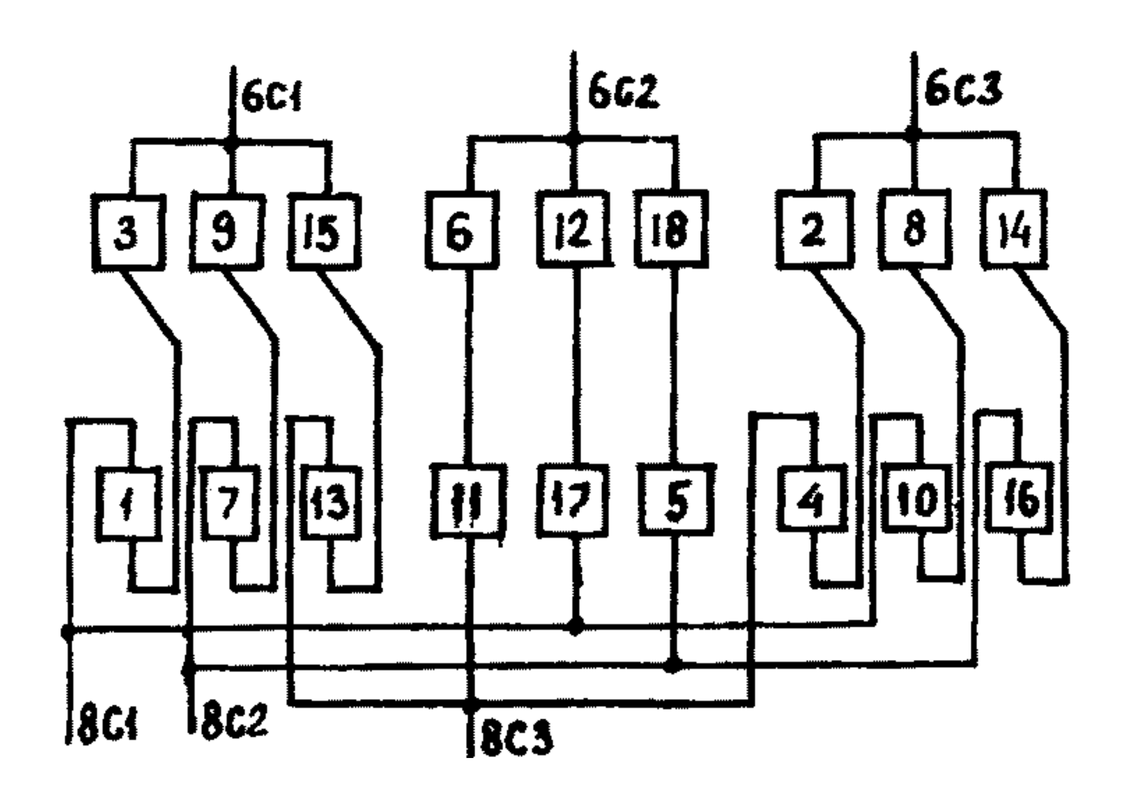


Рис. 6. Схема с тремя нулевыми точками двухскоростной однослойной равносекционной в развалку ППО с условными КГ = 18 и расположением их в фазах тройной звезды, $2p$ = 8/6, YYY/YYY, Z = 36, q = 1+1, y = 5 (1 – 6).

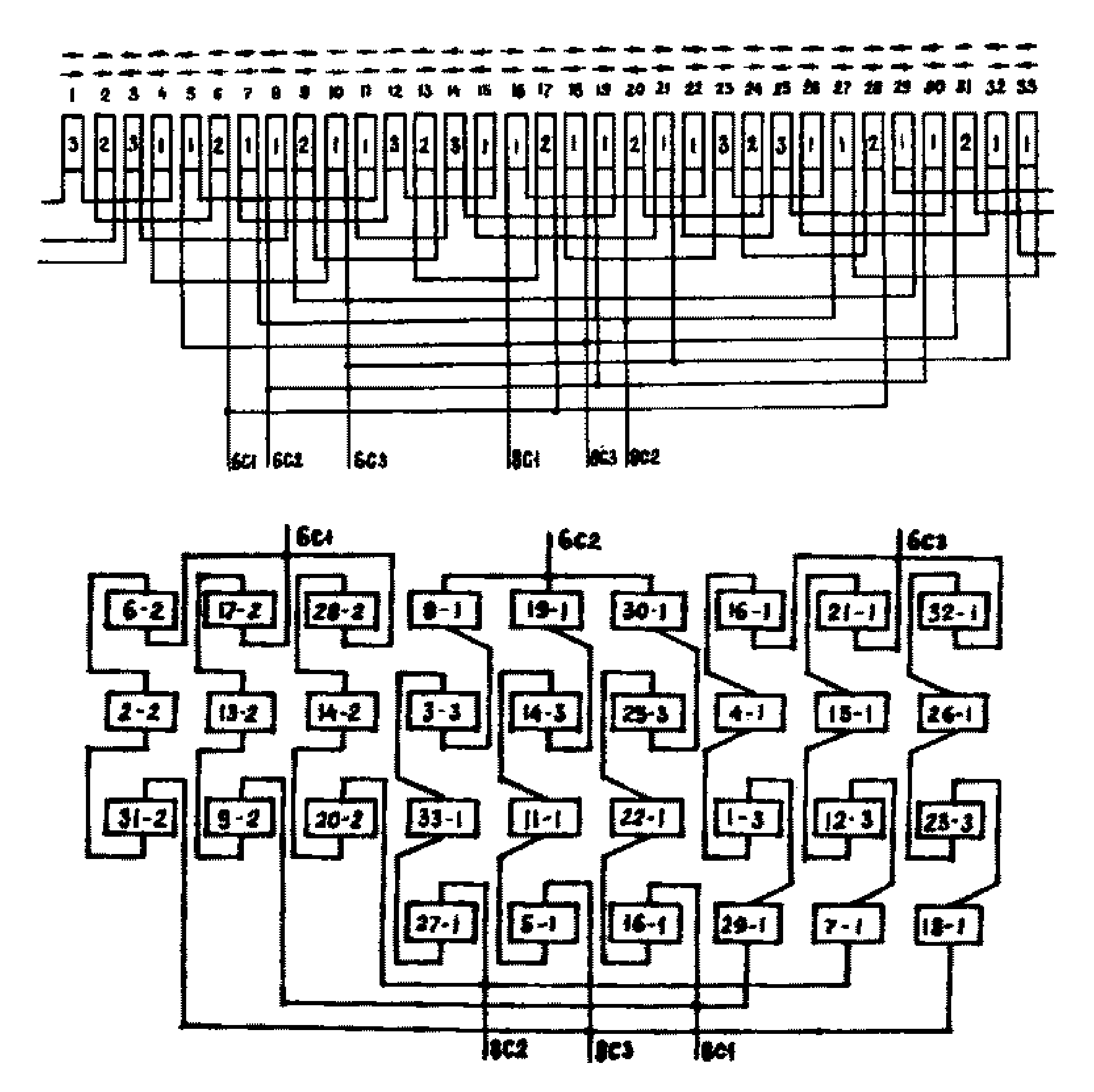


Рис. 7. Схема с тремя нулевыми точками двухскоростной двухслойной равносекционной ППО с условными КГ = 33, и расположением их в фазах тройной звезды $2p$ = 8/6, YYY/YYY, Z = 54, q = 1, 2, 3, y = 7 (1 – 8).

2. 2. 3. Полюсно–переключаемые обмотки по принципу амплитудно–фазной модуляции $2p$ = 8/6.

Модуляция – это изменение числа пар полюсов, но так как изменение происходит в фазах обмотки, то это будет фазной модуляцией. Иногда добавляется еще слово амплитуда, отсюда и название обмотки с амплитудно–фазной модуляцией. Особенность этих обмоток состоит в том, что катушечные группы составляются с разным количеством секций, что позволяет при дробном отношении полюсов образовать в обмотке необходимое число полюсов, а зачастую улучшить синусоиду магнитного поля, – за счет создания равномерности амплитуды.

На рис. 8 приведена двухскоростная полюсно–переключаемая обмотка по принципу амплитудно–фазной модуляции с числом полюсов $2p$ = 8/6, соединением обмотки треугольник–двойная звезда (△/YY), числом пазов в статоре Z = 72, числом пазов на полюс и фазу – q = 1, 2, 5, 6, шагом обмотки y = 9 (1–10).

Общее количество катушечных групп – КГ = 22, из них единиц – 8, двоек – 4, пятерок – 4 и шестерок – 6, с чередованием КГ – 6, 6, 2, 1, 1, 5, 6, 5, 1, 1, 2, 6, 6, 2, 1, 1, 5, 6, 5, 1 1, 2.

Полюсно–переключаемая обмотка при большем числе полюсов $2p$ = 8 включается в треугольник (△), у которой каждая фаза состоит из двух частей, а места их соединения являются выводами для обмотки с меньшим числом полюсов $2p$ = 6 (точки А, В, С). При подключении обмотки на меньшее число полюсов $2p$ = 6 обмотка с большим числом полюсов $2p$ = 8 замыкается, при этом образуется двойная звезда (YY). Обмотка применяется для электродвигателей 4А180М 8/6, 4А200М 8/6, 4А225М 8/6 и 4А250М 8/6.

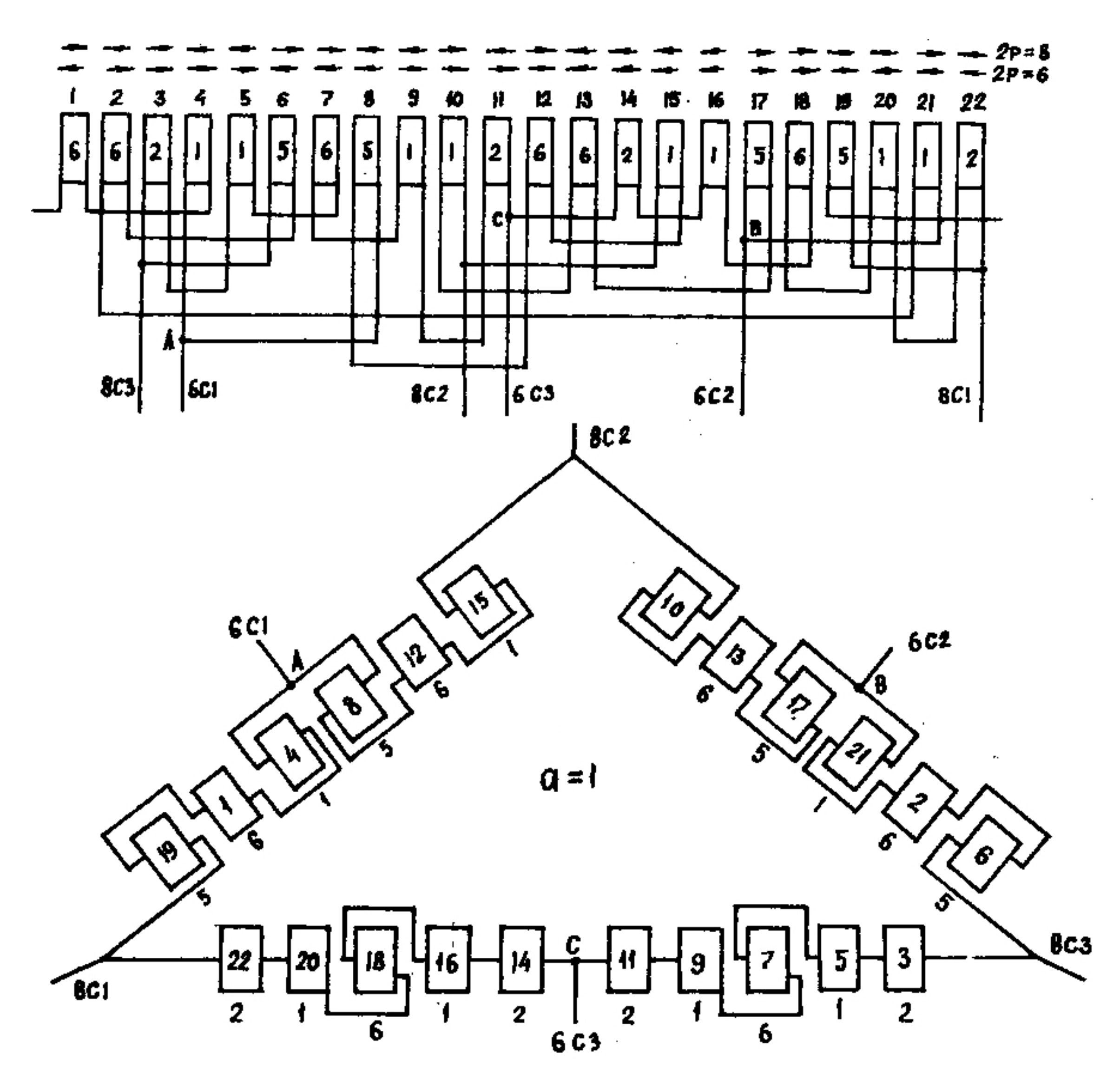


Рис. 8. Схема амплитудно–фазной модуляции двухскоростной двухслойной равносекционной ППО, с условными КГ = 22 и расположением их в фазах треугольника $2p$ = 8/6, △/YY, Z = 72, q = 1, 2, 5, 6, y = 9 (1 – 10).

3. Различные ППО для многоскоростных электродвигателей.

Указанные ниже схемы применяются для электродвигателей серии Т, имеющие габариты 41, 42, 51, 52, Z = 36. Они приведены в "Справочнике по обмоточным данным электрических машин и аппаратов (П. В. Тембель и Г. В. Геращенко), вышедшем в 1981 году в Киеве. Помимо схем с условными катушечными группами для некоторых сложных указана (для наглядности) и частичная укладка обмотки в пазы.

На рис. 9 приведена двухскоростная ППО с числом полюсов $2p$ = 6/2 на 10 выводов соединением треугольник–треугольник (△/△). Обмотка выполнена двухслойной q = 4 и 2, y = 7 (1–8), КГ = 14, из них четверок – 4, двоек – 10, с чередованием КГ – 4, 2, 2, 4, 2, 2, 2, 4, 2, 2, 4, 2, 2, 2.

На рис. 10 дана двухскоростная ППО с числом полюсов $2p = 6/4$, на 14 выводов, соединением △/△. Обмотка выполнена однослойной концентрической $q = 2$, $y_1 = 7$ (1–8), $y_2 = 5$ (2–7), КГ = 9.

На рис. 11 помещена двухскоростная двухслойная концентрическая ППО с раздвоенными КГ в одной плоскости (малые и большие части обмотки заходят друг за друга и занимают отдельные пазы), $2p = 8/2$. Наружные КГ имеют $q = 3$, $y_1 = 1–15$, $y_2 = 2–14$, $y_3 = 3–13$; внутренние КГ имеют $q = 3$, $y_4 = 4–12$, $y_5 = 5–11$, $y_6 = 6–10$ (укладывается первой), 6 – выводов, соединением Y/YY.

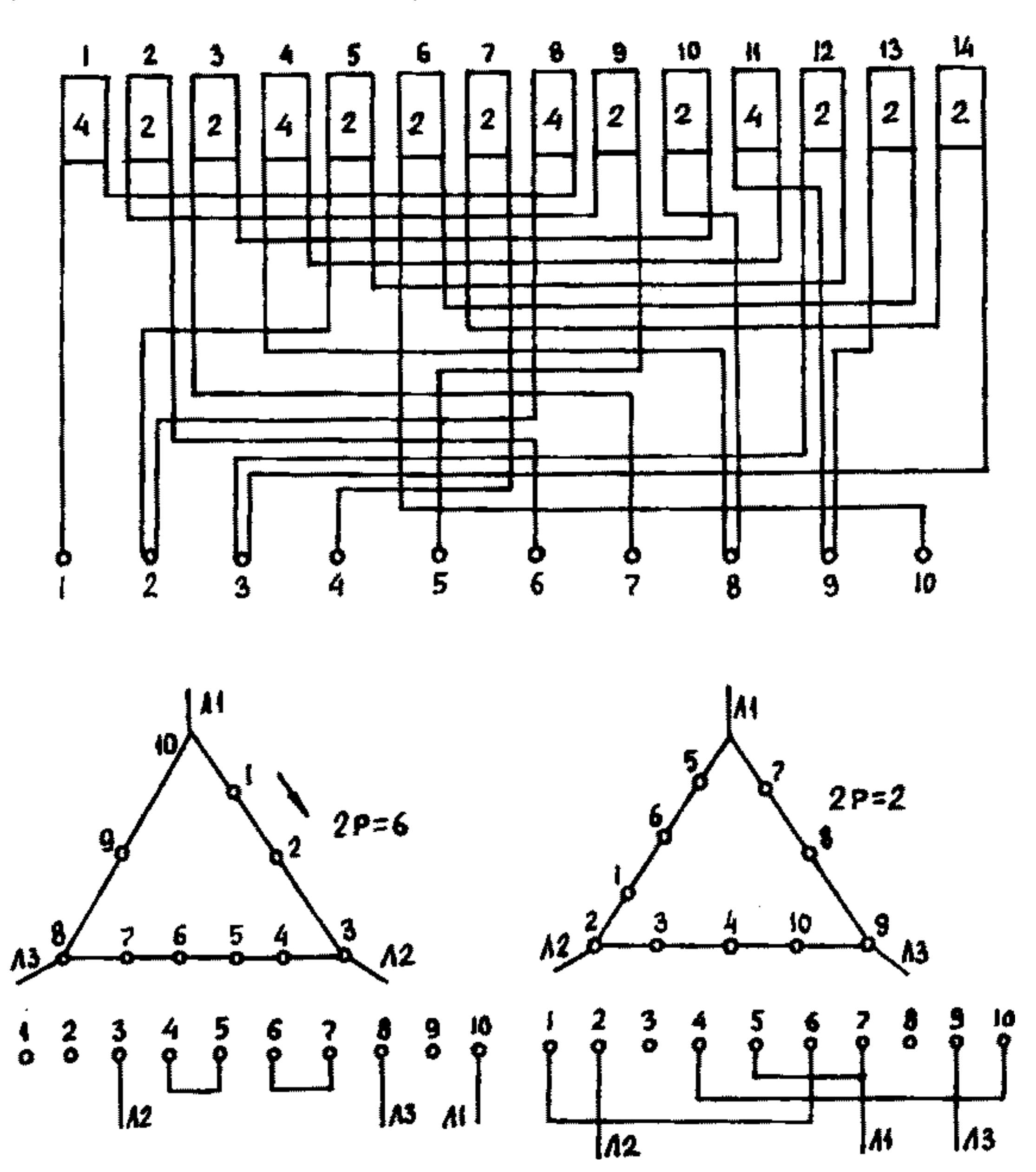


Рис. 9. Схема двухскоростной двухслойной равносекционной ППО, с условными КГ = 14 и включение скоростей, $2p = 6/2$, △/△, $Z = 36$, $q = 2{,}4$, $y = 7$ (1 – 8).

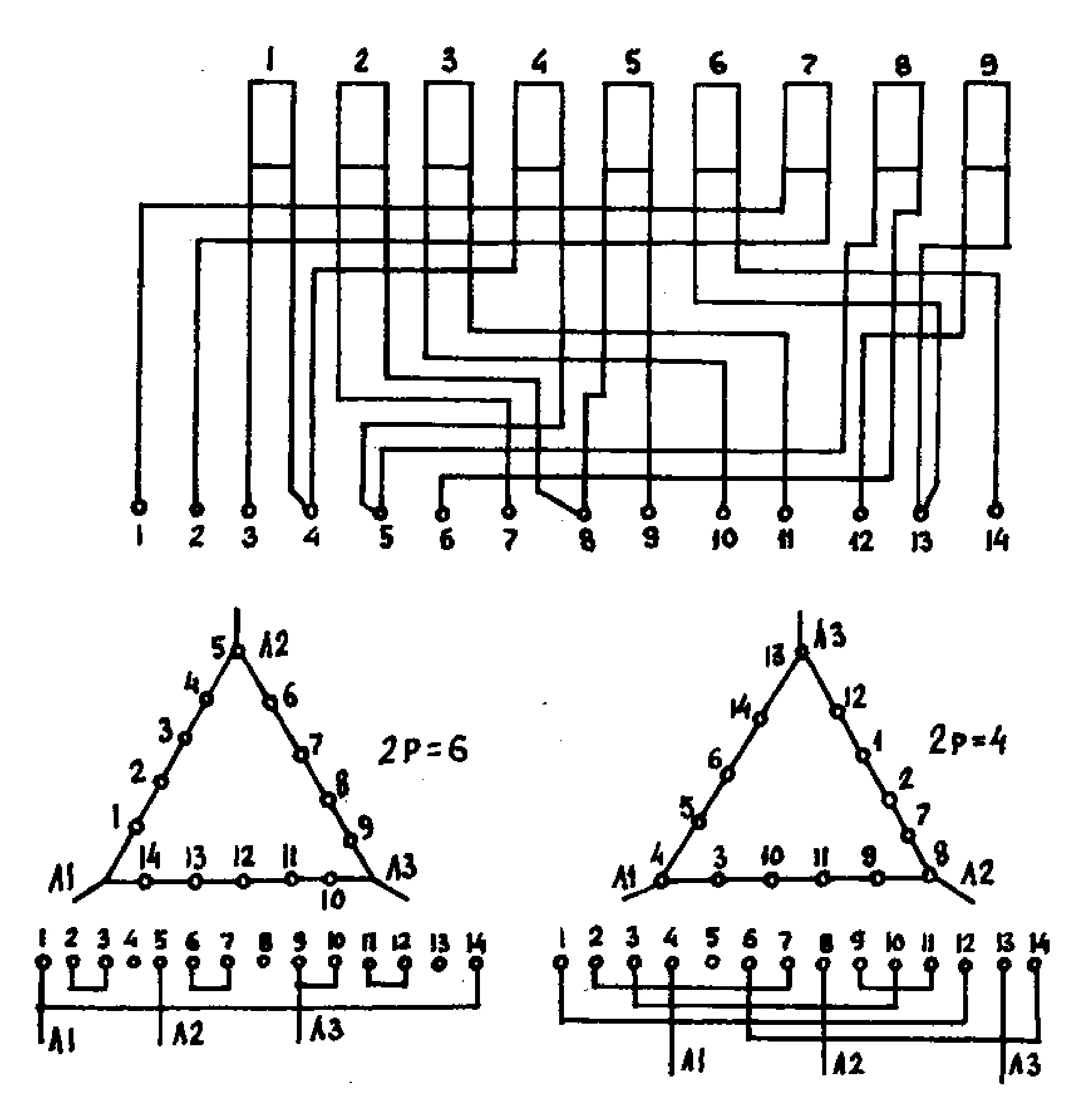


Рис. 10. Схема двухскоростной однослойной равносекционной ППО с условными КГ = 9 и включение скоростей, $2p = 6/4$, △/△, $Z = 36$, $q = 2$, $y = 6$ (1 – 7).

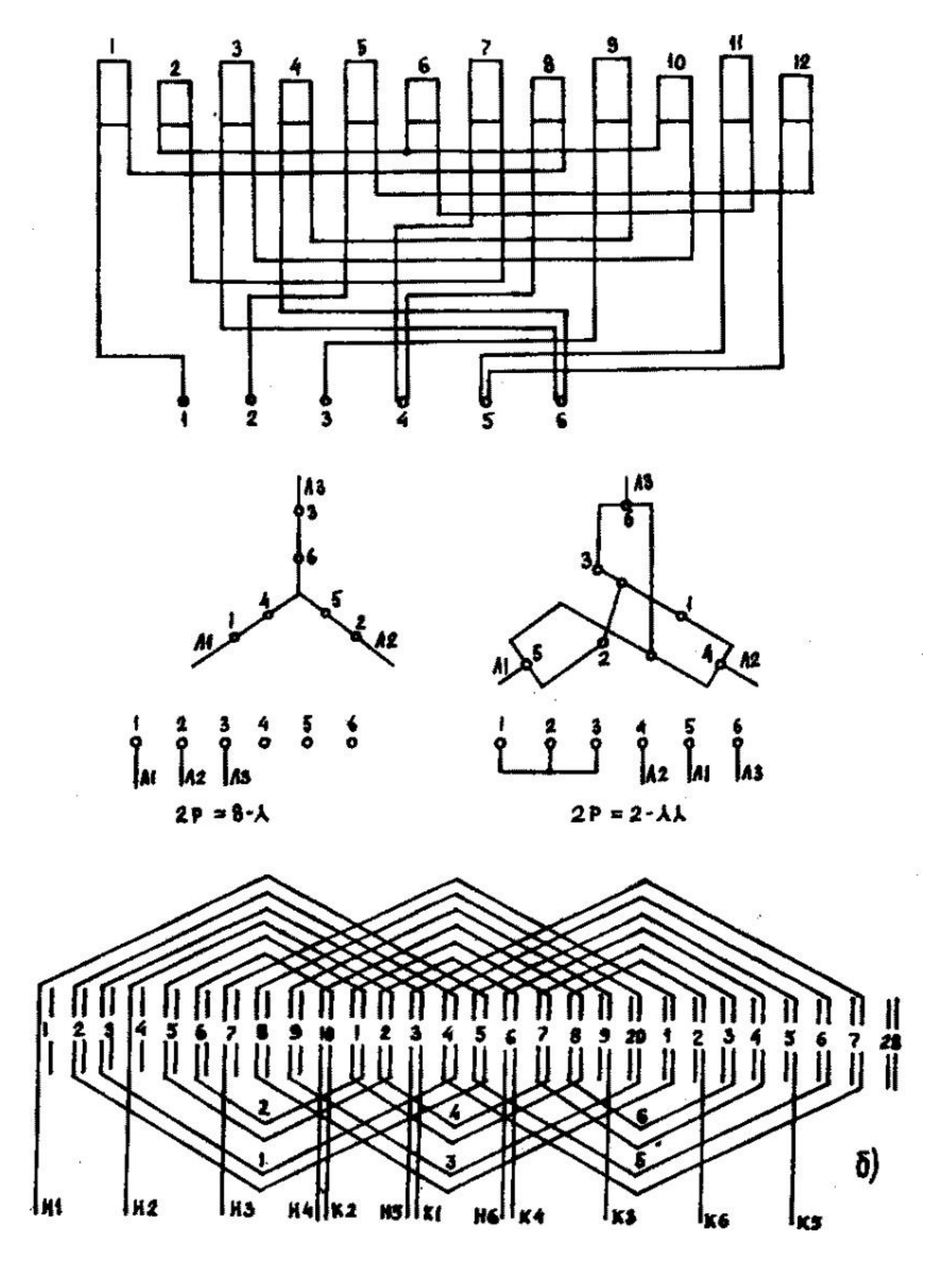


Рис. 11. Схема двухскоростной двухслойной концентрической ППО с условными КГ = 6 + 6, включение скоростей и порядок укладки, $2p$ = 8/2, Y/YY, Z = 36, q = 3
y_1 = 14 (1–15), y_2 = 12 (2–14), y_3 = 10 (3–13), y_4 = 8 (4–12), y_5 = 6 (5–11), y_6 = 4 (6–10)

На рис. 12 показана двухскоростная двухслойная равно– секционная ППО q = 4 и 2, y = 5 (1–6), КГ = 15, из них четверок – 3, двоек – 12, чередованием КГ – 4, 2, 2, 2, 2, 4, 2, 2, 2, 2, 4, 2, 2, 2, 2. Число полюсов $2p$ = 8/6, выводов – 12, соединение – двойной треугольник–тройной треугольник (△△/△△△).

На рис. 13 дана двухскоростная ППО $2p$ = 10/2, выводов – 12, соединение – Y/Y: первая – однослойная равносекционная q = 1, y = 3 (1–4), КГ = 18, вторая – двухслойная равносекционная q = 3, y = 12 (1–13), КГ = 12 (укладывается сверху).

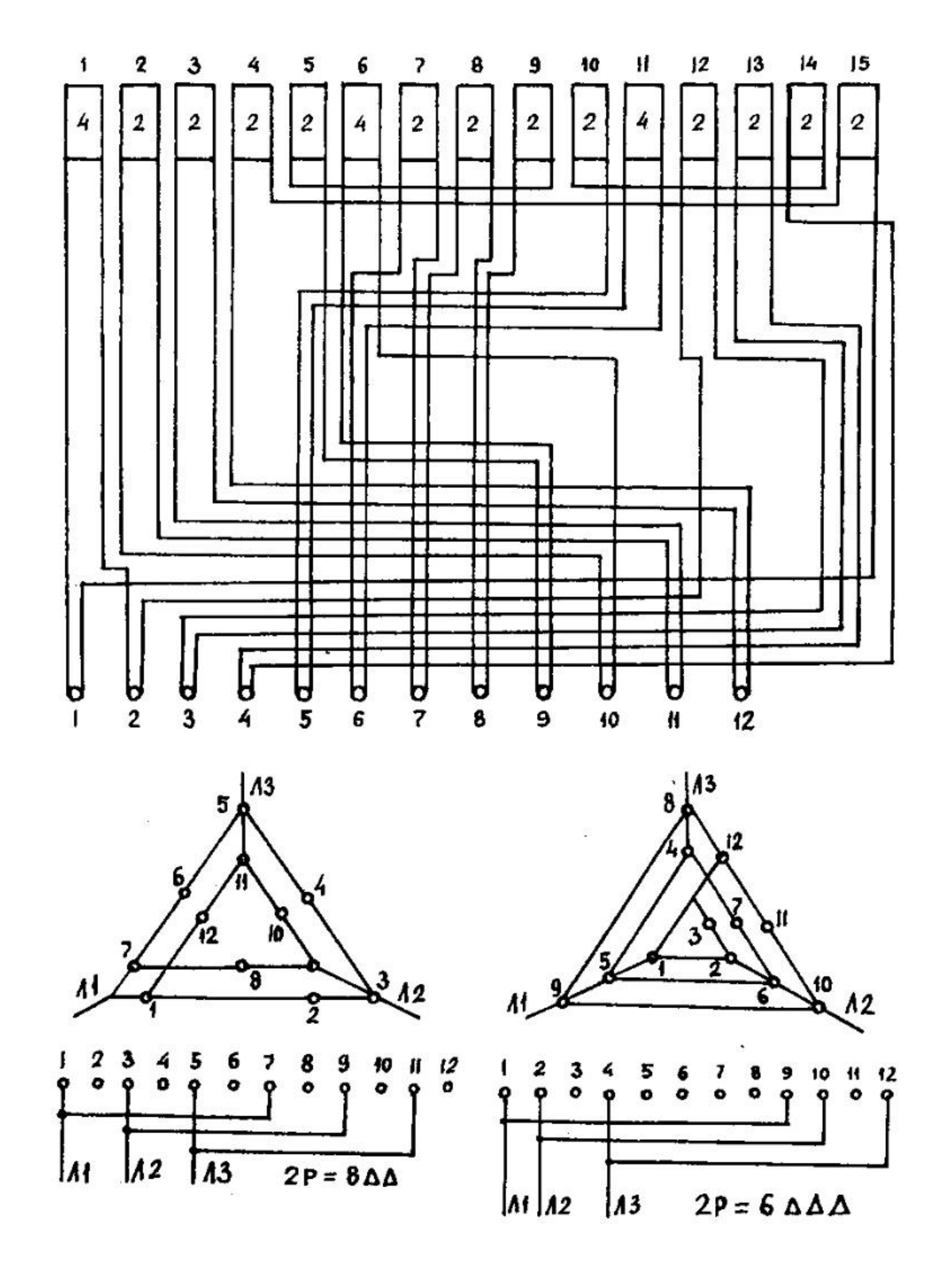


Рис. 12. Схема двухскоростной двухслойной равносекционной ППО с условными КГ =15 и включение скоростей, $2p$ = 8/6, △△/△△△, Z = 36, q = 2, 4, y = 5 (1–6).

На рис. 14 помещена двухскоростная двухобмоточная ППО, $2p$ = 16/4, выводов – 9, соединение – Y/YY: Первая – основная, полутороcлойная равносекционная обмотка q = 2, y = 7 (1–8), КГ = 12, укладка с первого паза. Каждая секция одной стороной занимает полный паз, а второй – полпаза; вторая – дополнительная однослойная обмотка, КГ = 18, из которых КГ = 12 имеют q = 1, y = 2 (1–3) с началом укладки – с первого паза и занимают пазы, в которых расположены секции с одной стороной от первой основной обмотки и КГ = 6, имеют q = 1, y = 3 (1–4) с началом укладки с пятого паза, занимают пазы, в которых лежат две стороны секций от первой основной обмотки. Секции второй дополнительной обмотки с разным шагом имеют разное число витков и включаются между собой последовательно.

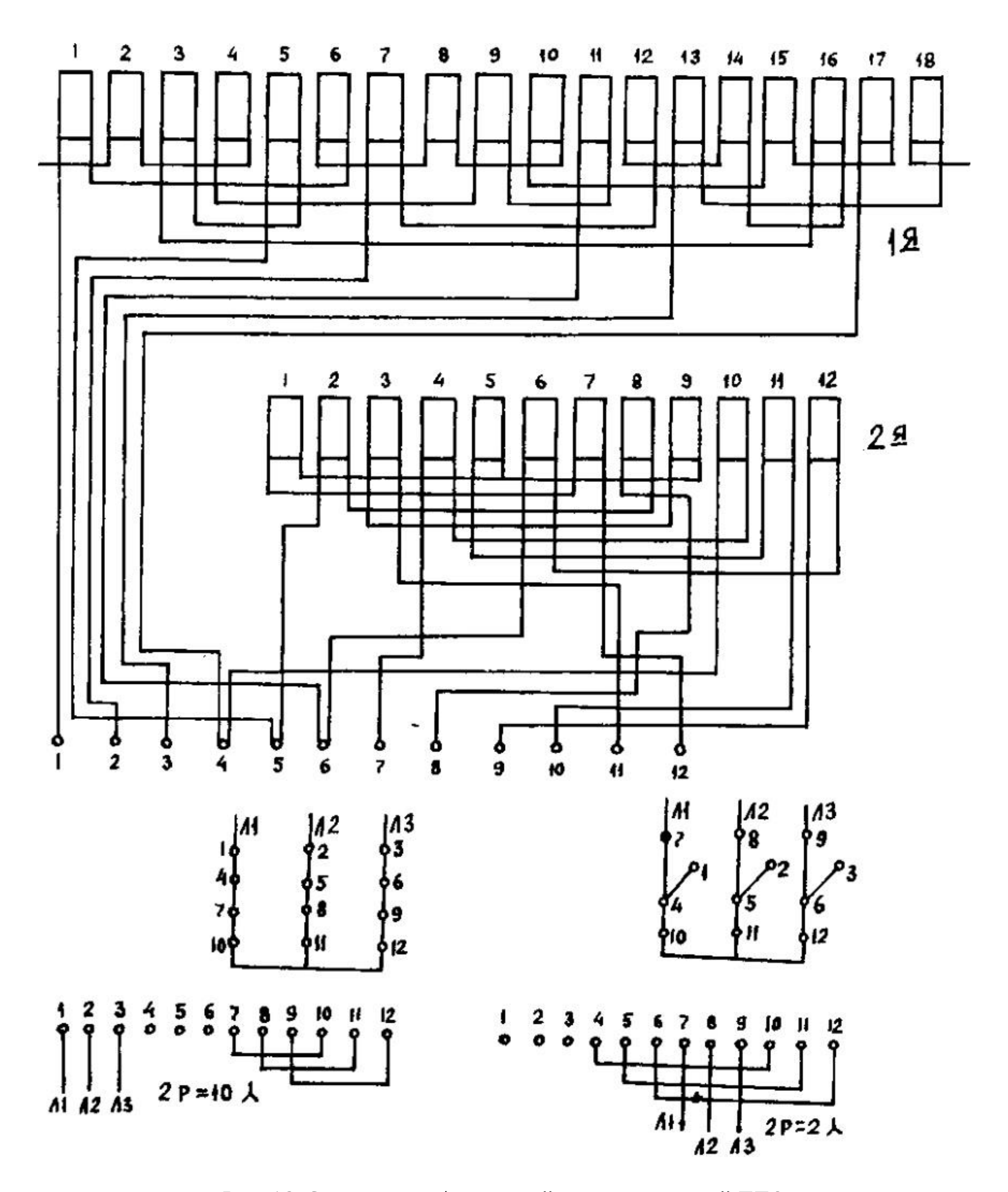


Рис. 13. Схема двухобмоточной двухскоростной ППО
с условными КГ и включение скоростей
$2p$ = 10/2, Y/Y, Z = 36, 1– я однослойная равносекционная КГ = 18, q = 1, y = 3 (1–4), (на дне паза). 2– я двухслойная равносекционная КГ= 12, q = 3, y = 12 (1 –13).

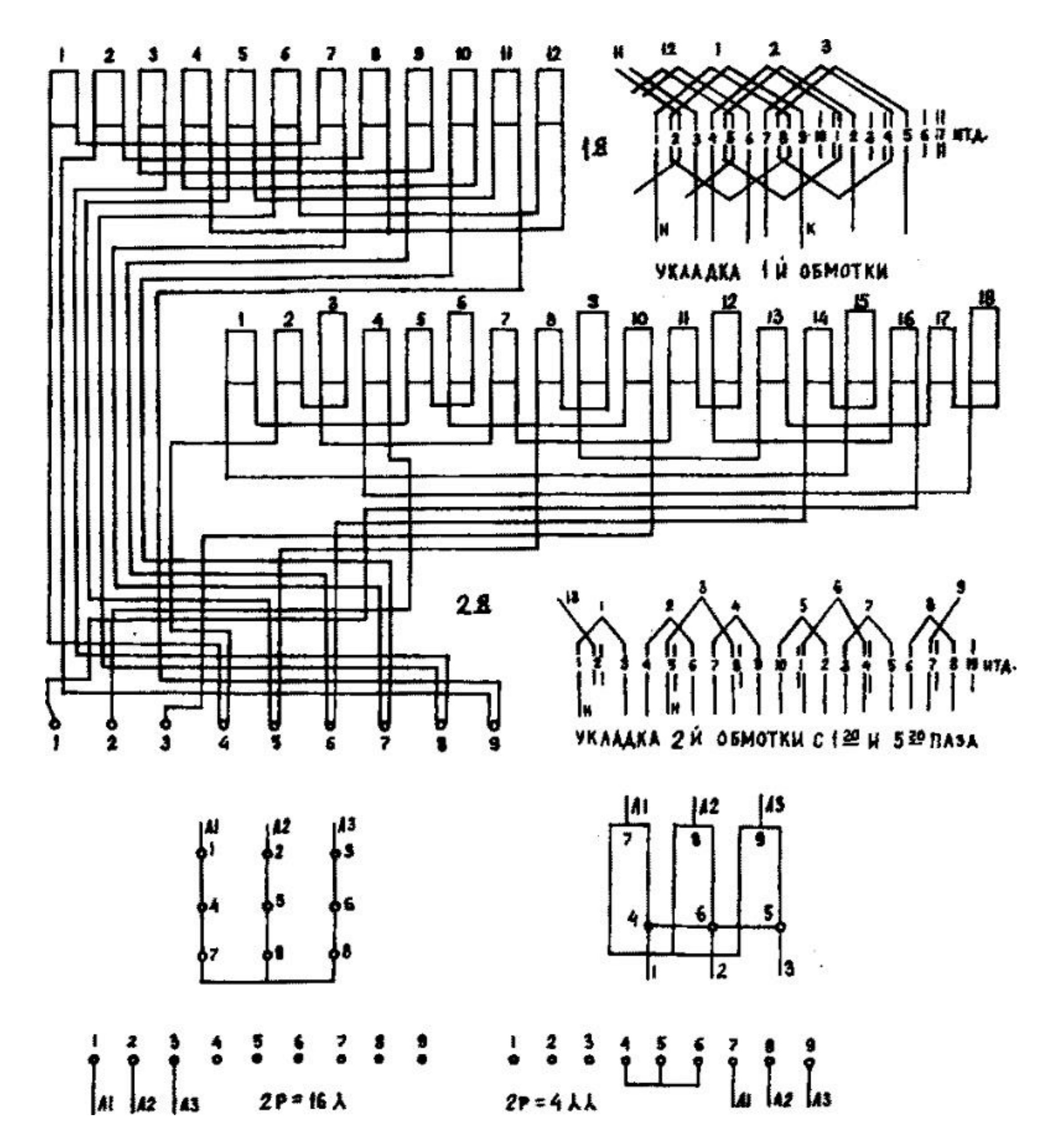


Рис. 14. Схема двухобмоточной двухскоростной ППО, включение скоростей и укладка, $2p = 16/4$, Y/YY, $Z = 36$.
1– я полудвухслойная, равносекционная, $q = 2$, $y = 7$ (1–8), КГ = 12, (на дне паза).
2– я однослойная с малыми и большими секциями $q = 1$,
КГ = 18 из них малых КГ = 12, $y = 2$ (1–3) и больших КГ = 6, $y = 3$ (1–4).

На рис. 15 показана трехскоростная двухобмоточная ППО, $2p = 6/4/2$ на 13 выводов, соединение – YYY/△Y/△Y: первая – двухслойная равносекционная обмотка $q = 4$, $y = 5$ (1–6); вторая – однослойная равносекционная цепная обмотка $q = 2$, $y = 11$ (1–12), КГ = 3, занимает пазы 4, 6 и 15, 16; 16, 18 и 27, 29; 28, 30 и 3, 5.
На рис. 16 вы видите трехскоростную двухслойную концентрическую ППО с разделенными КГ в одной плоскости (входят друг в друга). Число полюсов $2p = 8/4/2$, выводов – 9, соединение – YY/△△/△△: наружные КГ $q = 3$, $У_1$ = 1–15, y_2 = 2–14, y_3 = 3–13; внутренние КГ, $q = 3$, y_4 = 4–12, y_5 = 5–11, y_6 = 6–10 (укладывается первой). Выполнение обмотки идентично (рис. 11).
На рис. 17 – трехскоростная двухслойная равносекционная ППО с числом полюсов $2p = 8/6/4$, $q = 2$ и 4, $y = 5$ (1–6), КГ = 12, из них четверок – 6, двоек – 6, чередованием КГ – 4, 2, 2, 4, 4, 2, 2, 4, 4, 2, 2, 4, выводов – 18, соединение – △/△/YY.

На рис. 18 – трехскоростная, двухобмоточная ППО с числом полюсов $2p$ = 10/6/4; первая – однослойная равносекционная обмотка q = 1, y = 5 (1–6), КГ = 18, укладывается первая, начиная с первого паза; вторая обмотка состоит из двух изолированных друг от друга; основной равносекционной обмотки q = 2, y = 10 (1–11), КГ = 6 укладывается второй (наружная) начиная со второго паза и дополнительной равносекционной обмотки q = 1, y = 5 (1–6) КГ = 6, укладывается внутри основной обмотки, начиная с пятого паза. Число проводников в секциях для обмоток "а" и "б" –– одинаково. Обмотка имеет 16 выводов, соединение △/△/YY.

На рис. 19 показана трехскоростная двухслойная равносекционная ППО на $2p$ = 12/8/4, соединение – Y/△/△ на 15 выводов, q = 2, y = 4 (1–5), КГ =18.

На рис. 20 – четырехскоростная двухслойная равносекционная ППО с числом полюсов 2р =8/6/4/2, q = 2 и 4, y = 5 (1–6), выводов – 21, соединение – △/△/YY/YY, КГ =12, из них четверок – 6, двоек – 6, с чередованием 4, 2, 2, 4, 4, 2, 2, 4, 4, 2, 2, 4.

На рис. 21 дана четырёхскоростная двухобмоточная ППО. Обе обмотки равносекционные. $2p$ = 12/6/2; первая обмотка q = 2, y = 3 (1–4), КГ = 18, вторая – q = 6, y = 9 (1–10), КГ = 6, выводов – 12, соединение △/YY/△/YY.

На рис. 22 приведена четырехскоростная двухобмоточная ППО. Обе обмотки двухслойные равносекционные, КГ= 18, $2p$ = 2/9/6/4, q = 2, y = 4 (1–5), выводов – 22, соединение △/△/△/△.

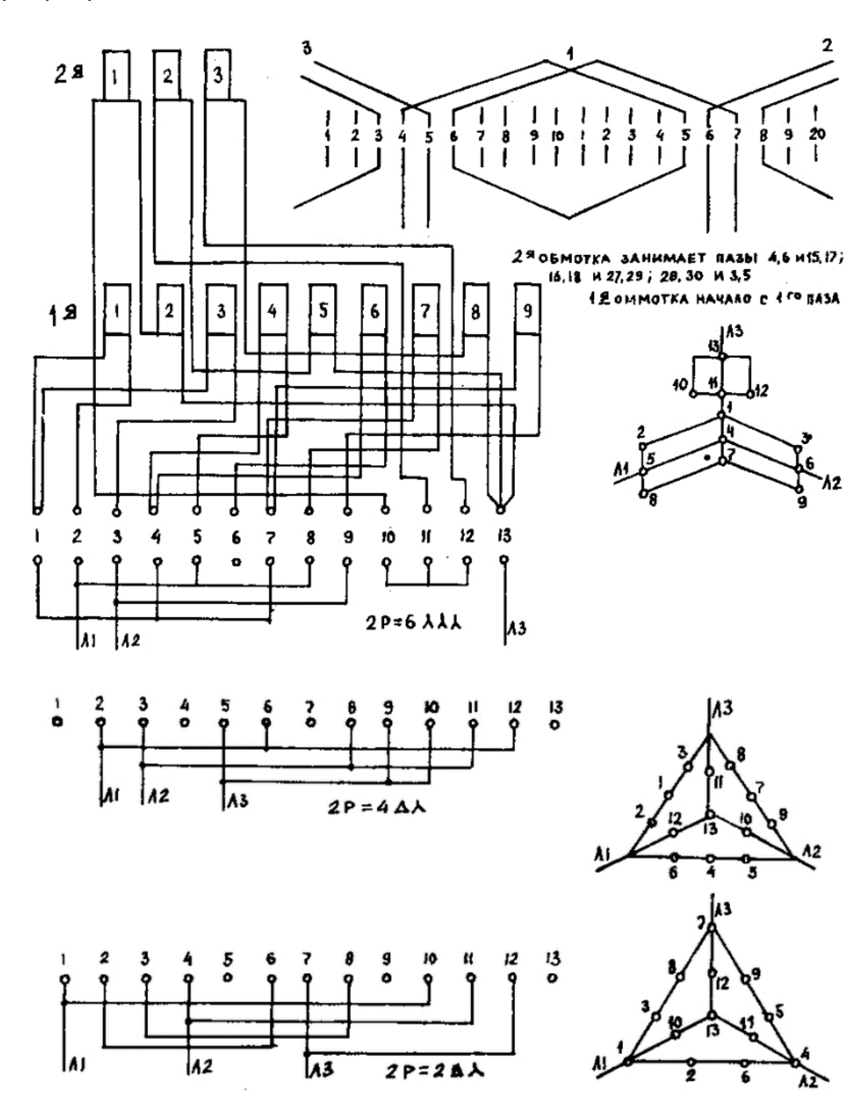


Рис. 15. Схема двухобмоточной трехскоростной ППО $2p$ = 6/4/2, YYY/△Y/△Y, Z = 36, с условными КГ, включение скоростей и укладка второй обмотки. 1–я двухслойная равносекционная КГ = 9, q = 4, y = 5 (1–6), (на дне паза).
2–я цепная, q = 2, y = 11 (1 –12), (занимает только 12 пазов).

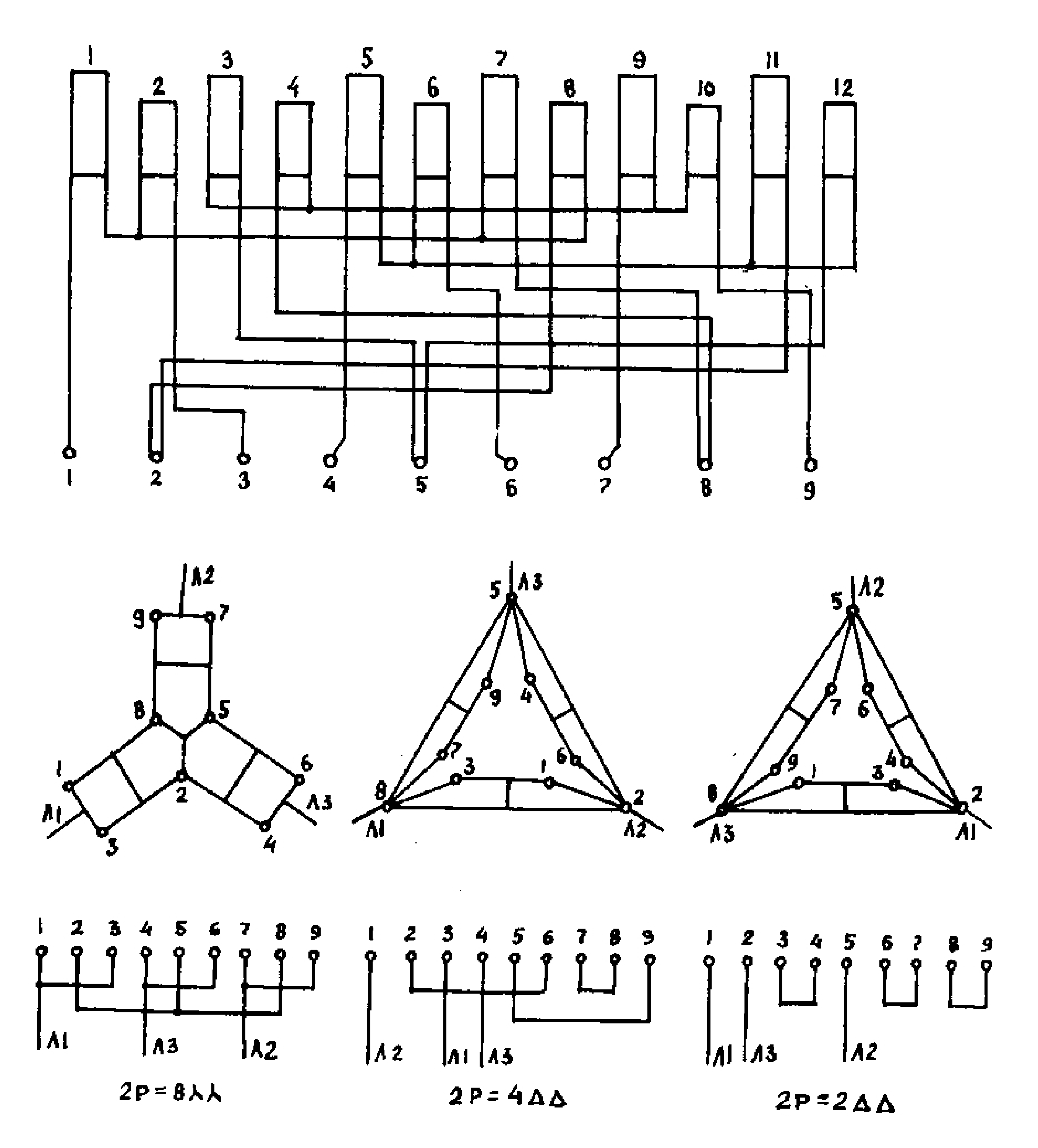


Рис. 16. Схема трехскоростной двухслойной концентрической ППО, и включение скоростей

2*p* = 8/4/2, YY/△△/△△, Z–36 (укладка обмотки идентична рис. 11).

q = 2, y = 3 (1–4), КГ =18; вторая – *q* = 6, *y* = 9 (1–10), КГ = 6, выводов – 12, соединение – △/YY/△/YY.

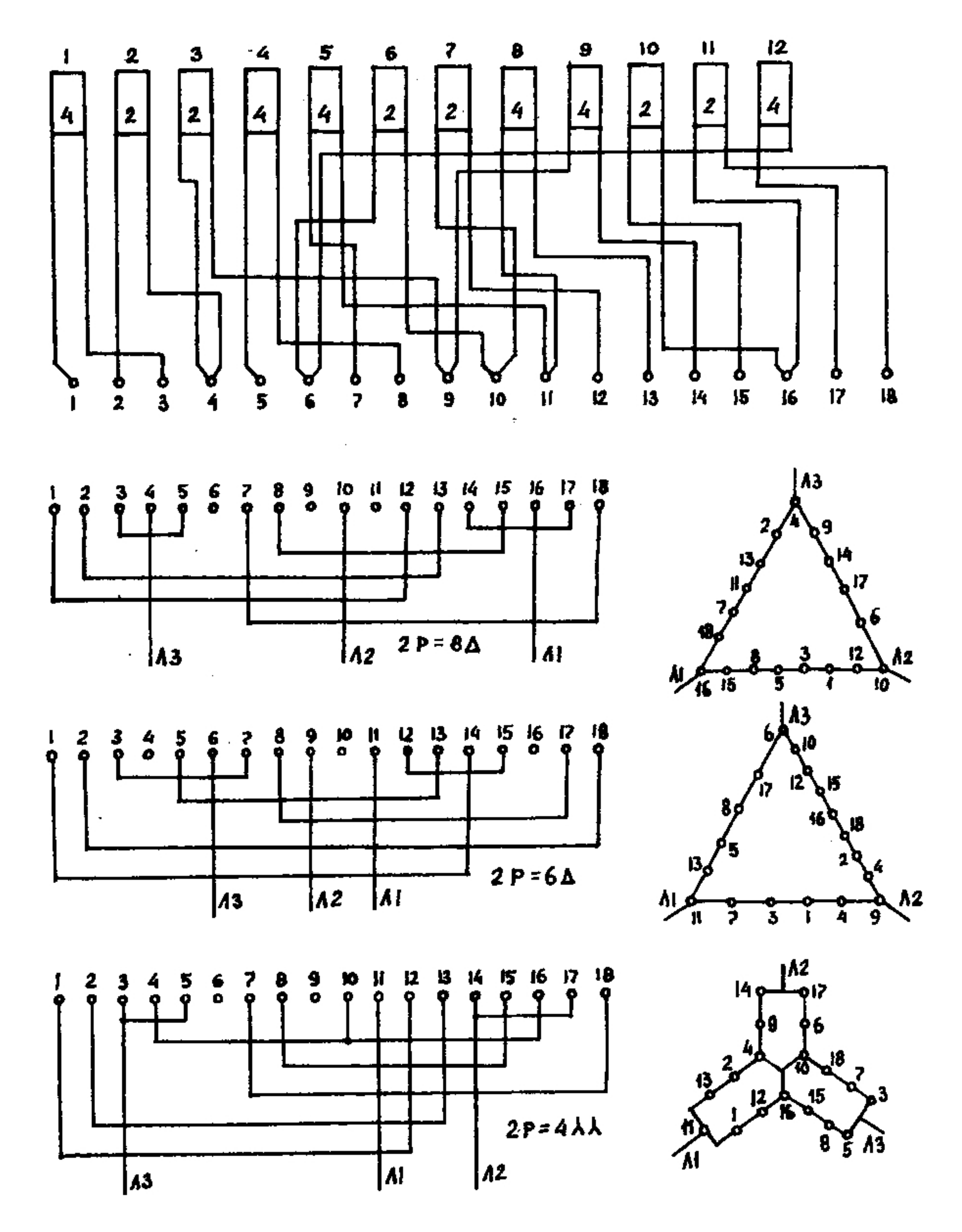


Рис. 17. Схема двухобмоточной трехскоростной двухслойной равносекционной ППО и включение скоростей, $2p = 8/6/4$, △/△/YY, $Z = 36$, $q = 2{,}4$, $y = 5$ (1–6).

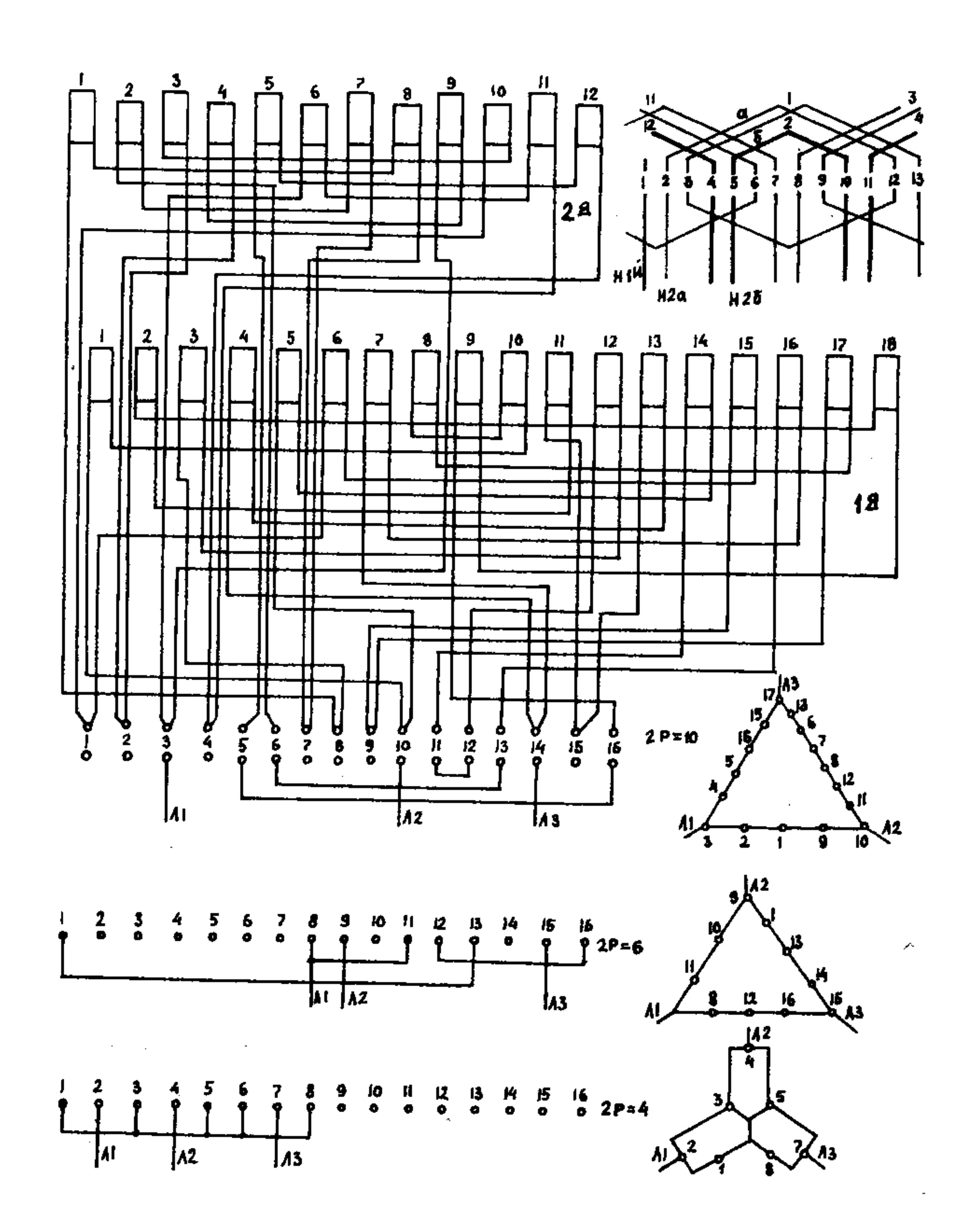
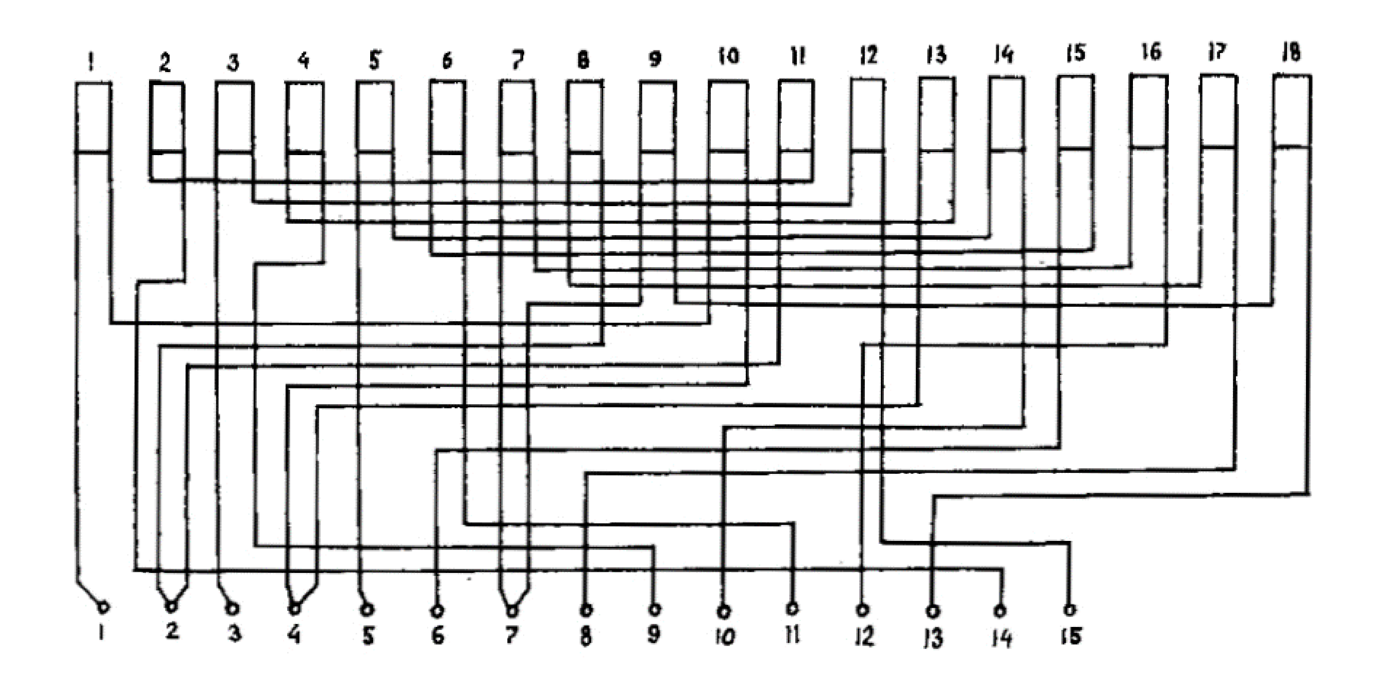


Рис. 18. Схема двухобмоточной трехскоростной ППО, включение скоростей и укладка, $2p$ = 10/6/4, △/△/YY, Z = 36
1– я – однослойная равносекционная q = 1, y = 5 (1–6)
2– я – состоит из двух частей
а) основная однослойная равносекционная
q = 2, y = 10 (1–11)
б) дополнительная однослойная
q = 1, y = 5 (1–6)



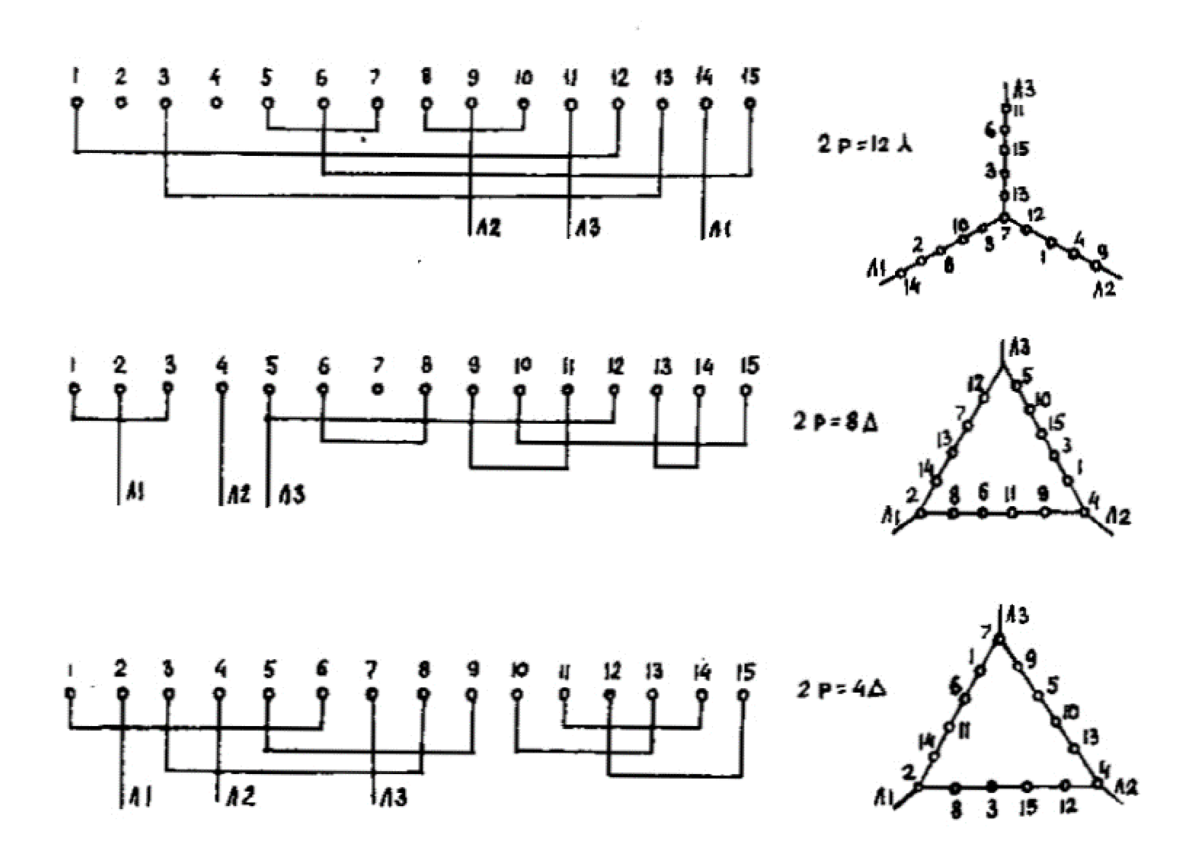


Рис. 19. Схема трехскоростной двухслойной равносекционной ППО и включение скоростей,
$2p$ = 12/8/4, Y/△/△, Z = 36, q = 2, y = 4 (1–5).

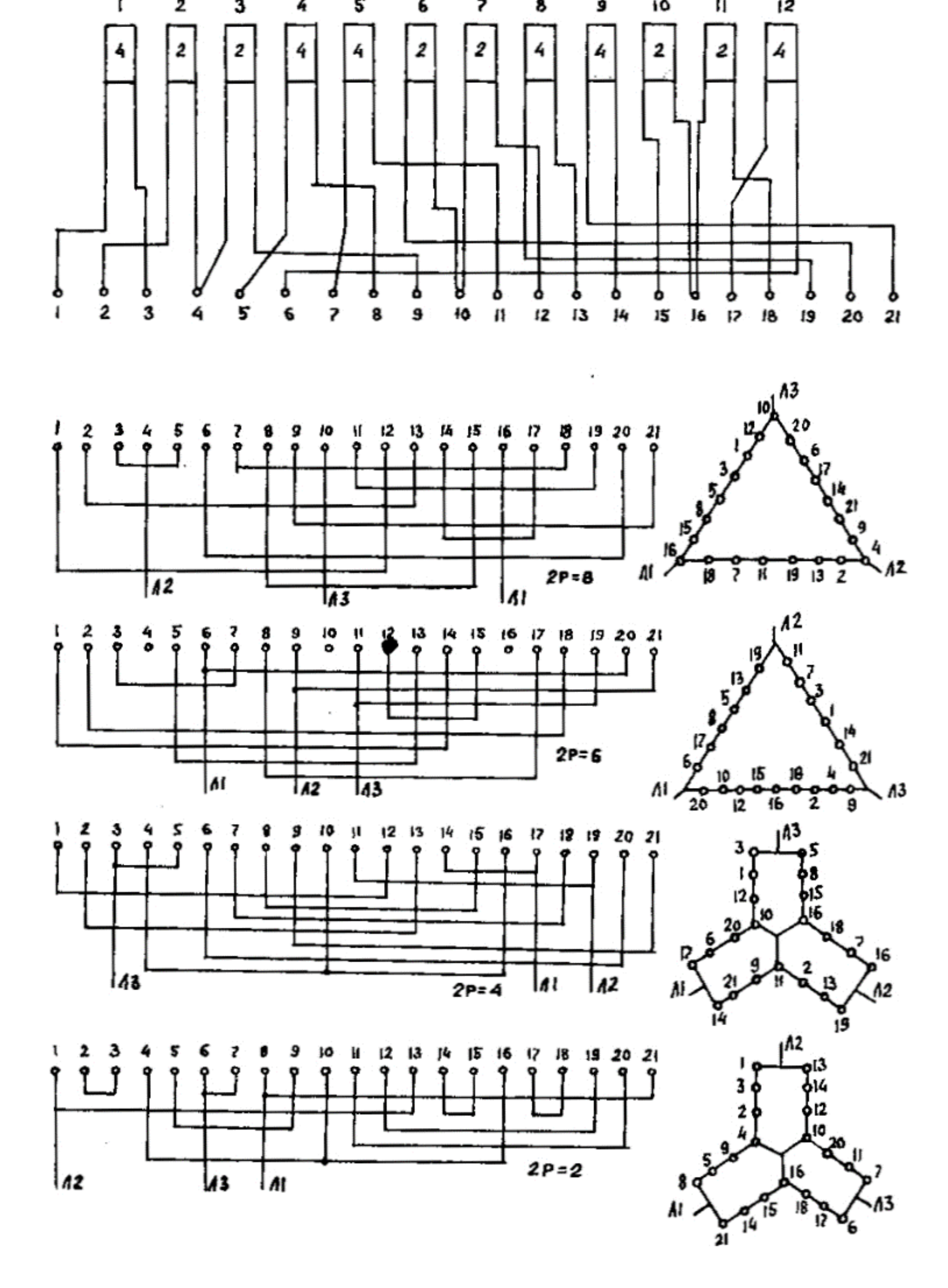


Рис. 20. Схема четырехскоростной двухслойной равносекционной ППО и включение скоростей, $2p$ = 8/6/4/2, △/△/YY/YY, a = 2,4, y = 5 (1–6).

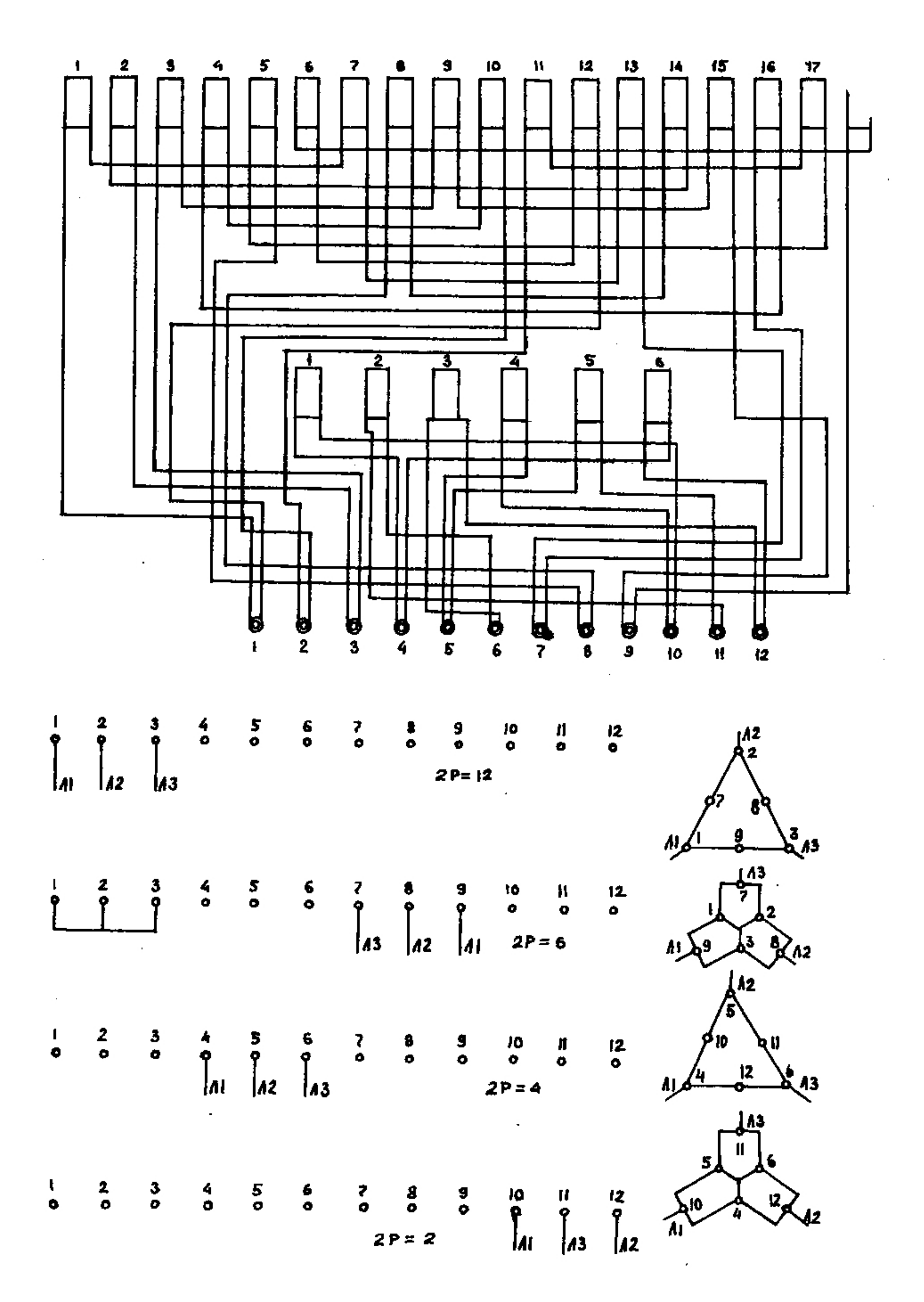


Рис. 21. Схема двухобмоточной, двухслойной равносекционной НПО и включение скоростей $2p = 12/6/4/2$, △/YY/△/YY, $Z = 36$ 1–я – $q = 2$, $y = 3$ (1–4), 2–я – $q = 6$, $y = 9$ (1–10)

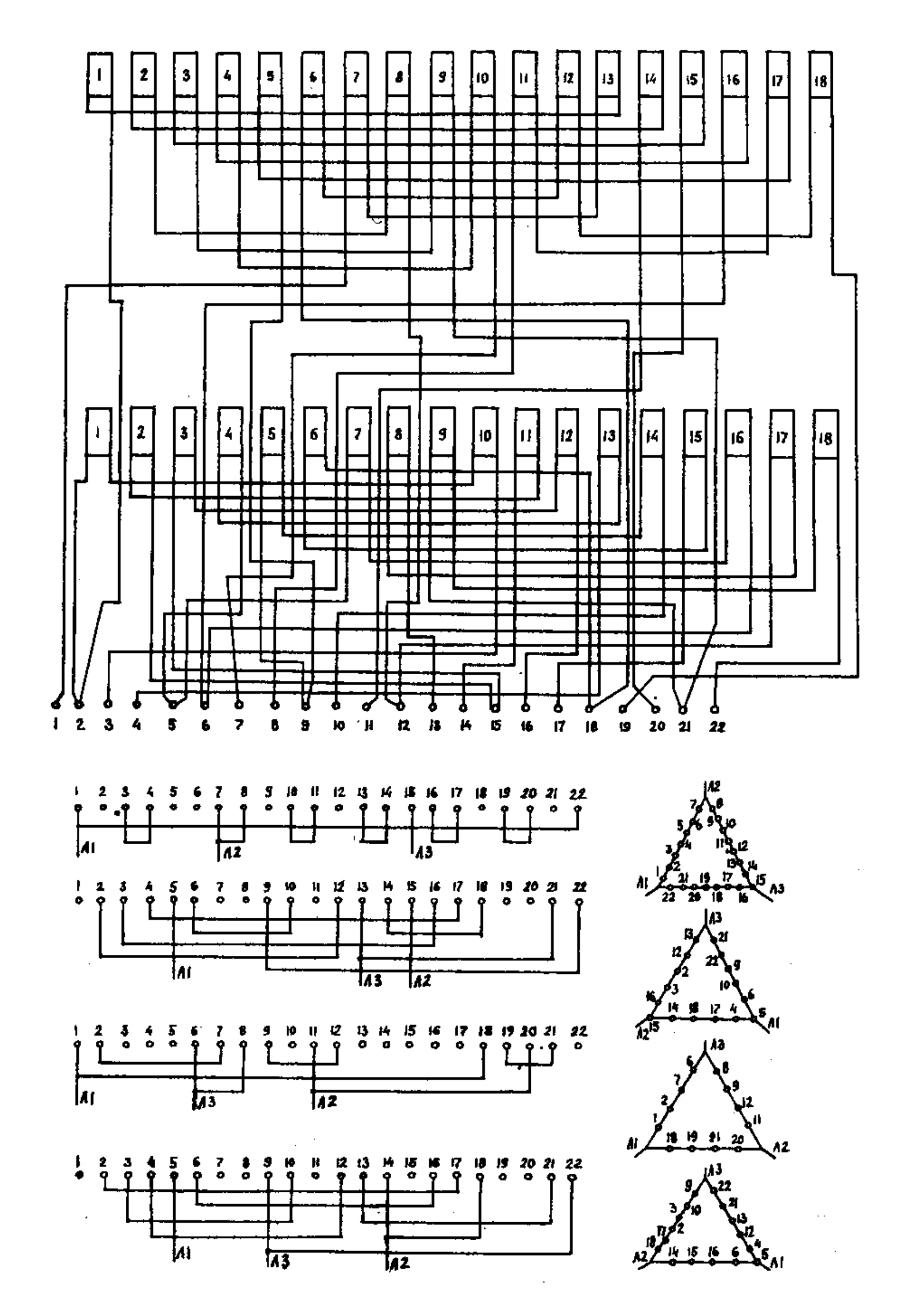


Рис. 22. Схема двухобмоточной четырехскоростной двухслойной равносекционной ППО $2p$ = 12/8/6/4. △/△/△/△, Z = 36, y = 4 (1–5).

4. Полюсно–переключаемые обмотки многоскоростных электродвигателей серии АИР.

Приведенные ниже полюсно–переключаемые обмотки для многоскоростных электродвигателей серии АИР с отношением полюсов неравным 2/1 разработаны международной организацией по экономическому и научно–техническому сотрудничеству в области электротехнической промышленности "Интерэлектро" (СЭВ). По сравнению с электродвигателями серии 4А, старого типа Т и других, переключаемые обмотки серии АИР более просты в исполнении и надежны в эксплуатации, при этом отвечают рекомендациям международной электротехнической комиссии по всем параметрам и характеристикам.

На рис. 23 приведена схема двухскоростной ППО с числом полюсов $2p = 8/2$, $Z = 36$, на шесть выводов соединением Y/YY. Обмотка выполнена концентрической (подобно одно– двухслойной), КГ = 12, из них шесть больших и шесть малых, с равным числом пазов на полюс и фазу $q = 2$. Большие КГ имеют шаги $y_1 = 15$ (1–16), $y_2 = 13$ (2–15), равномерно размещенных по окружности статора в 24 пазах, заходящих друг за друга (подобно нанизывания по два кольца), при этом каждая сторона секции занимает полностью паз.
Малые КГ расположены внутри больших КГ, с шагами $y_1 = 7$ (5–12), $y_2 = 5$ (6–11), причем каждая сторона секции занимает половину паза подобно двухслойной обмотке, размещены в 12 пазах. Вначале удобнее укладывать большие КГ.
На рис. 24 дана схема двухскоростной ППО, $2p = 16/4$, $Z = 36$, на шесть выводов, соединением Y/YY. Обмотка составлена с одинаковым $q = 1$, КГ = 24, из которых двенадцать больших, расположенных в 24 пазах с шагом $y = 7$ (1–8), каждая сторона секций занимает полностью паз и 12 малых, расположенных в 12 пазах с шагом $y = 5$ (3–6), каждая сторона секции занимает половину паза. Укладка обмотки идентична рис. 23.
На рис. 25 указана схема двухскоростной ППО. $2p = 6/4$, на шесть выводов соединением YYY/YYY, $Z = 36$. Обмотка выполнена двухслойной равносекционной $y = 7$ (1–8), $q = 1, 2, 3$, КГ = 24, из них троек – 3, двоек – 6 и единиц – 15.
На рис. 26 – схема двухскоростной двухслойной равносекционной ППО. $2p = 8/6$, $Z = 36$, на шесть выводов, соединением YYY/YYY, $y = 5$ (1–6), $q = 1, 2, 3$, КГ = 24, из них троек – 3, двоек – 6 единиц – 15. YYY/YYY, КГ = 15, из них троек – 3, двоек – 6 и единиц – 6, порядок чередования которых можно принять 3, 2, 1, 1, 2, 3, 2, 1, 1, 2, 3, 2, 1, 1, 2. Укладка КГ в каждом из трех периодов чередования должна быть с определенным шагом строго по порядку. Троек с шагами $y_1 = 10$ (1–11), $y_2 = 9$ (3–12), $y_3 = 10$ (4–14), первых двоек $y_1 = 9$ (6–15), $y_2 = 10$ (7–17), первых единиц $y = 10$ (10–20) и вторых единиц $y = 10$ (13–23). Вторых двоек $y_1 = 10$ (16–26), $y_2 = 9$ (18–27).

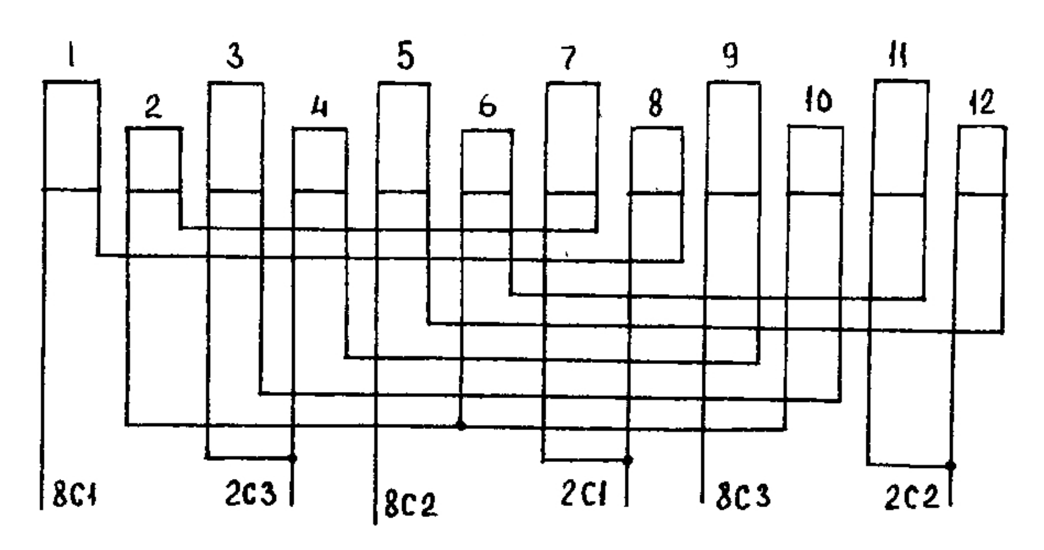


Рис. 23. Схема двухскоростной концентрической ППО
$2p = 8/2$, $Z = 36$, $q = 2$, КГ = 12, $y_1 = 15$ (1 –16), $y_2 = 13$ (2–15) и
$y_1 = 7$ (5–12), $y_2 = 5$ (6–11), Y/YY.

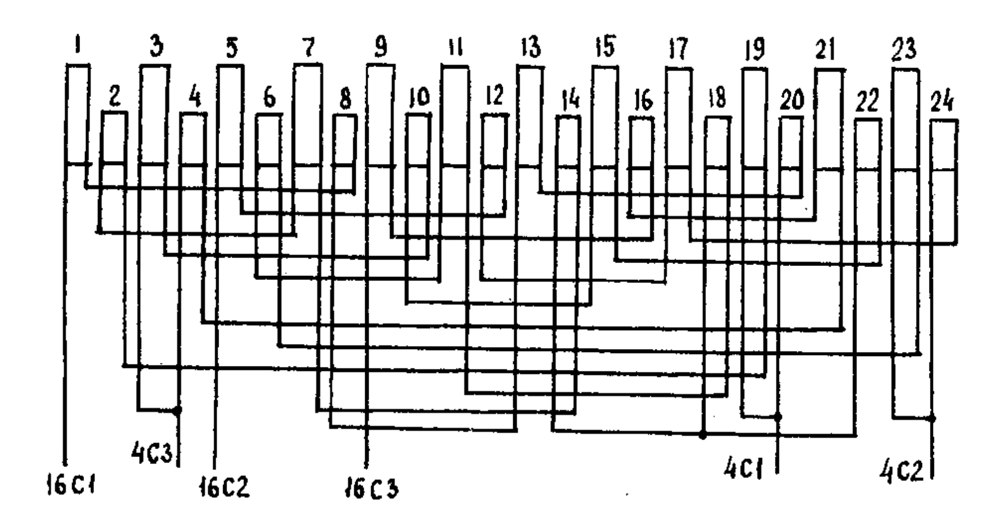


Рис. 24. Схема двухскоростной ППО
$2p = 16/4$, $Z = 36$, $q = 1$, КГ = 24, Y/YY, $y = 7$ (1–8) и $y = 5$ (3–6).

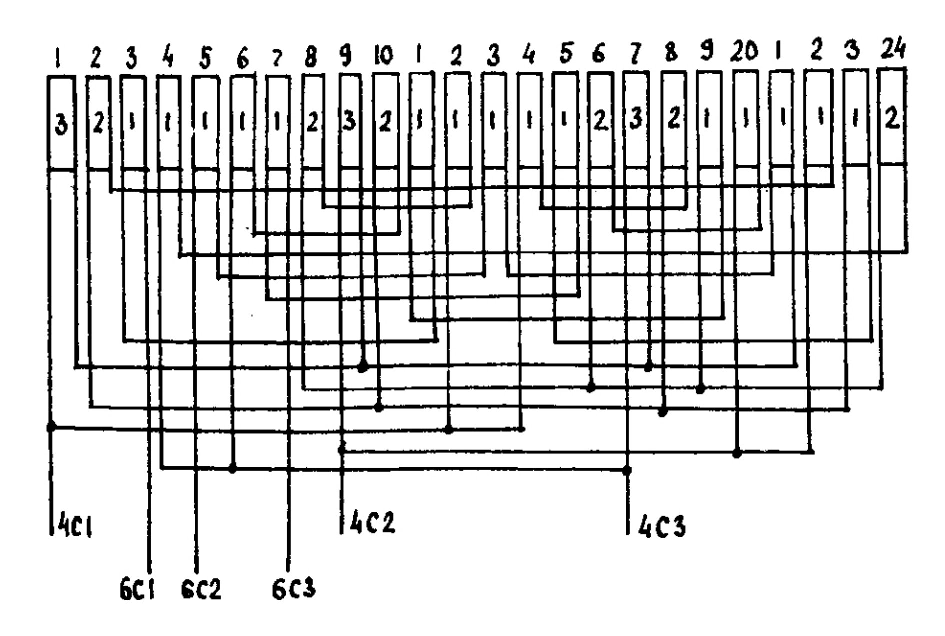


Рис. 25. Схема двухскоростной двухслойной равносекционной ППО
$2p = 6/4$, $Z = 36$, $q = 1, 2, 3$, YYY/YYY, КГ = 24, $y = 7$ (1–8)

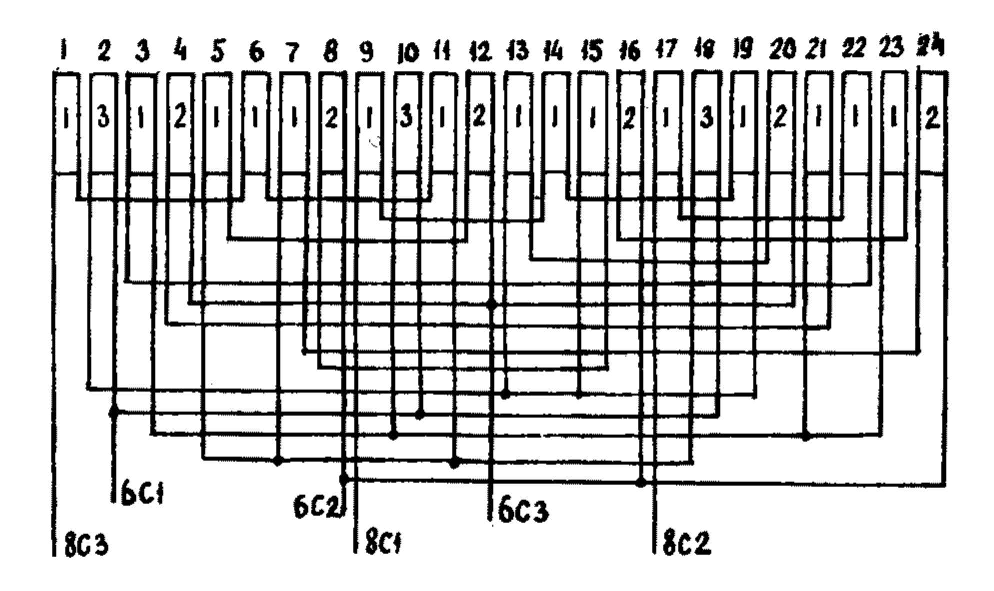


Рис. 26. Схема двухскоростной двухслойной равносекционной ППО.
$2p = 8/6$, $Z = 36$, $q = 1, 2, 3$, YYY/YYY, КГ = 24, $y = 5$ (1–6).

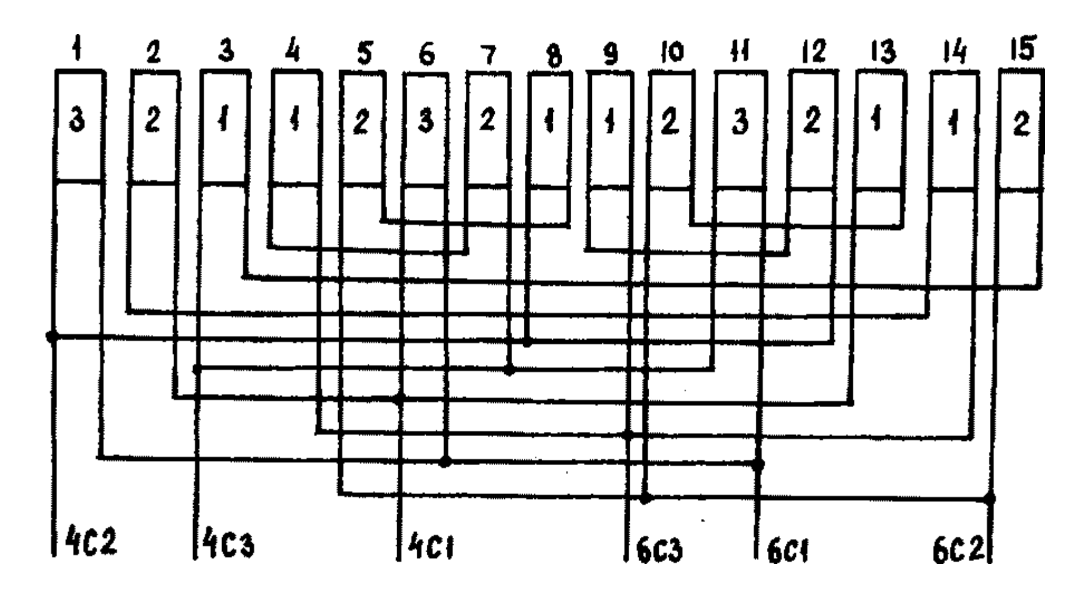


Рис. 27. Схема двухскоростной однослойной ППО
$2p$ = 6/4, Z = 54, q = 1, 2, 3, КГ = 15, YYY/YYY.

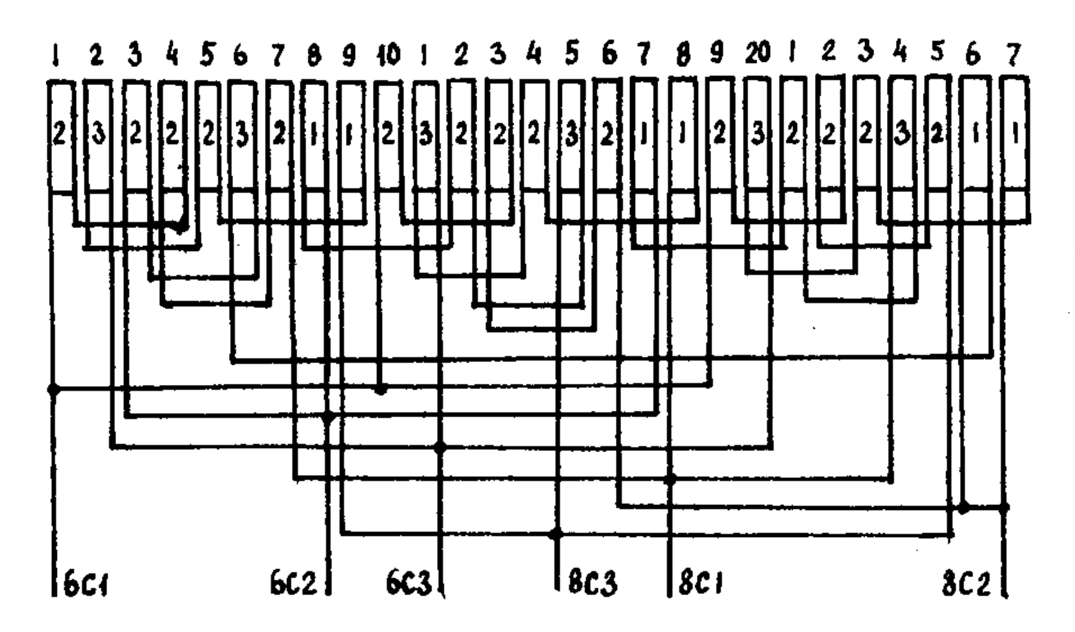


Рис. 28. Схема двухскоростной двухслойной равносекционной ППО
$2p$ = 8/6, Z = 54, q = 1, 2, 3, YYY/YYY, y = 7 (1–8), КГ = 27.

На рис. 28. – схема двухскоростной двухслойной равносекционной ППО. $2p$ = 8/6, Z = 54, q = 1, 2, 3, y = 7 (1–8) на шесть выводов соединением YYY/YYY, КГ = 27, из них троек – 6, двоек – 15, единиц – 6.

На рис. 29 – схема трехскоростной двухслойной равносекционной ППО, $2p$ = 8/6/4, Z = 36, на 12 выводов соединением △/YY /YYYY, q = 1, 2, 3, КГ = 16, из них троек – 8, двоек – 4 и единиц – 4, y = 6 (1–7).

На рис. 30 – двухскоростная двухслойная равносекционная полюсно–переключаемая обмотка с числом полюсов $2p$ = 10/6, соединением треугольник–тройная звезда (△/YYY), числом пазов статора Z = 36. ППО имеет девять выводов с указанием включения в треугольник (△) на $2p$ = 10 и тройную звезду (YYY) на $2p$ = 6, шагом y = 5 (1–6), числом пазов на полюс и фазу q = 2, и количеством катушечных групп КГ = 18.

На рис. 31 – двухскоростная равносекционная обмотка с числом полюсов $2p$ = 10/8, соединением треугольник–треугольник (△/△) и количеством пазов статора Z = 36. Обмотка выполнена на шесть выводов, с числом пазов на полюс и фазу q = 2, с шагом y = 3 (1–4) и числом катушечных групп КГ = 18.

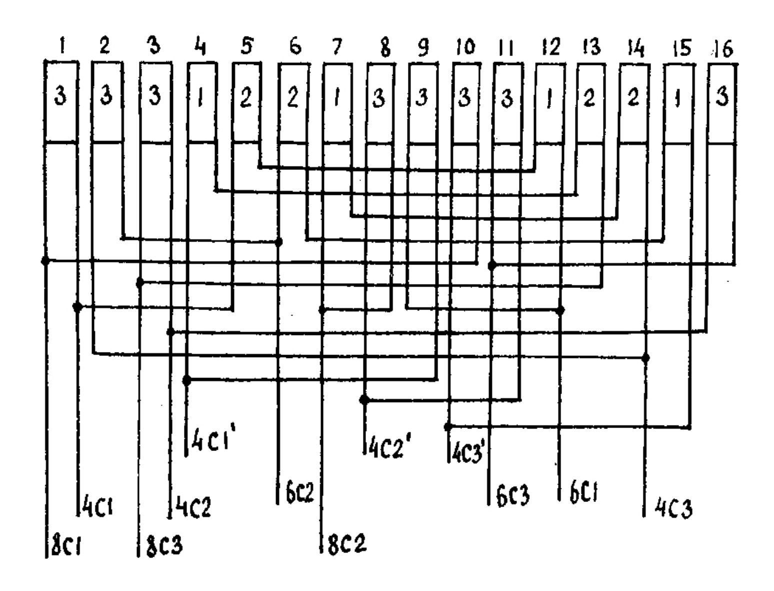


Рис. 29. Схема трехскоростной двухслойной равносекционной ППО
$2p = 8/6/4$, $Z = 36$, $q = 1, 2, 3$, △/YY/YYYY, $y = 6$ (1–7), КГ = 16

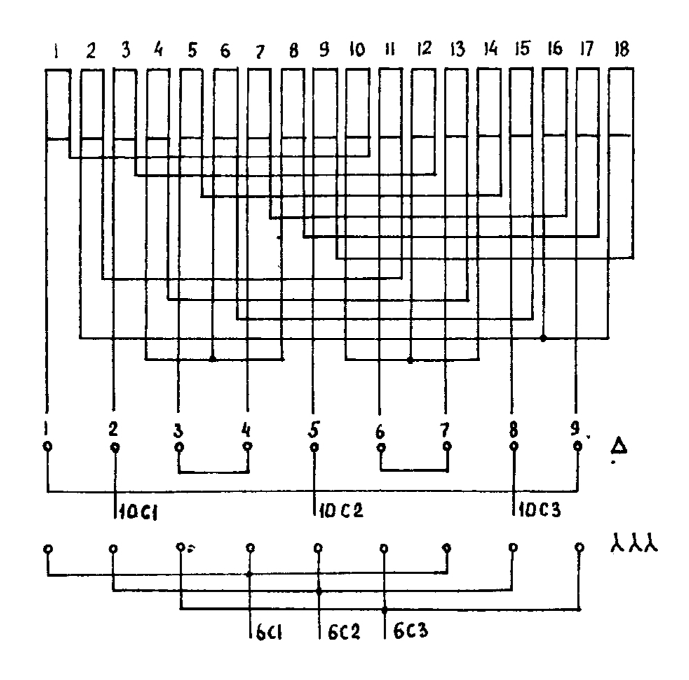


Рис. 30. Схема двухскоростной равносекционной ППО
$2p = 10/6$, $q = 2$, $y = 5$ (1–6), КГ = 18, $Z = 36$, △/YYY

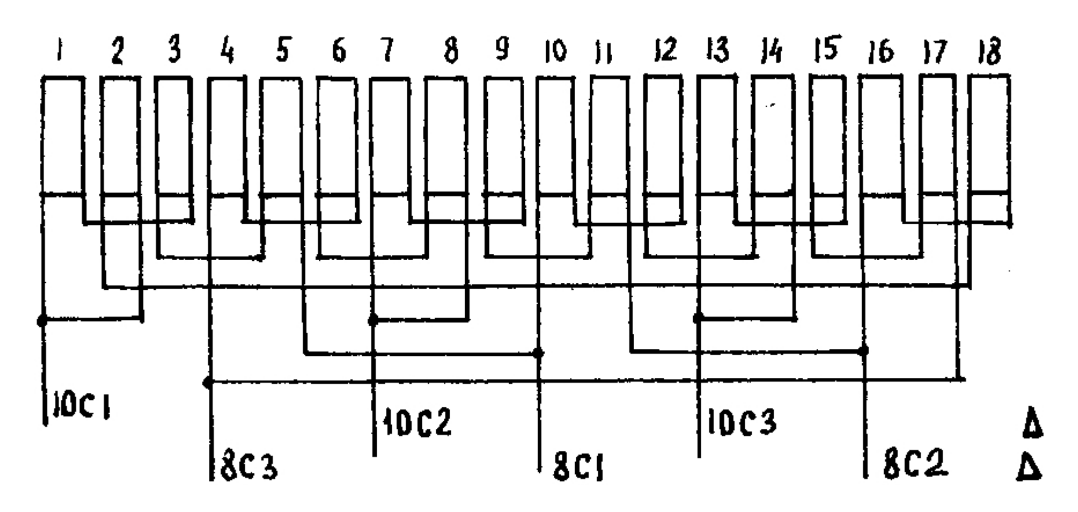


Рис. 31. Схема двухскоростной равносекционной ППО
$2p = 10/8$, $q = 2$, $y = 3$ (1–4), $Z = 36$, △/△.

5. Условия работы многоскоростных многообмоточных электродвигателей.

Если электродвигатель имеет две или более самостоятельных односкоростных обмоток, то при включении одной, остальные находятся под воздействием вращающегося магнитного потока. В отключенных (неработающих) обмотках от вращающего магнитного потока в каждой катушечной группе индуктируется электродвижущая сила ЭДС). В зависимости от соединения катушечных групп ЭДС в них должны быть направлены встречно и полностью или частично уничтожаются, поэтому в каждой фазе ЭДС могут быть равны нулю или иметь определенную результирующую величину. Последнее крайне нежелательно. Если отключенные обмотки выполнены последовательно сопряжением фаз, в звезду с разомкнутыми выводами, то независимо от наличия результирующих ЭДС в фазах, в обмотке ток будет отсутствовать. Если же в отключенных обмотках имеются параллельные ветви или выводы включены в треугольник, то при наличии результирующей ЭДС (в трех фазах в 3 раза больше), по обмотке будет протекать ток, от которого возникает магнитный поток и образуются полюса, количество которых зависит от числа катушечных групп. Электродвигатель будет издавать сильный гул, ротор вращается медленно или стоит на месте, потребляя чрезмерно большое количество электроэнергии.

Отсутствие в отключенных обмотках результирующих ЭДС зависит от многих условий, в том числе от соотношения полюсов, типа и шага обмоток, количества катушечных групп, включенных последовательно в параллельной ветви и т. п.

Для подбора отдельных, в том числе полюсно–переключаемых обмоток с определенным числом полюсов, обеспечивающих нормальную работу электродвигателя, существуют некоторые условия, с помощью которых можно предвидеть отсутствие или наличие в не работающих обмотках результирующих ЭДС. Так, например, если числа полюсов включенной и отключенной обмоток кратны четному числу или дробному числу более единицы, а также если включенная обмотка имеет меньшее число полюсов по сравнению с отключенной, то результирующее ЭДС отсутствуют. При кратности полюсов отключенной и включенной обмотками равному начетному числу или при нечетном числе катушечных групп в обмотке, результирующие ЭДС в отключенной обмотке более точно можно определить графической схемой для одной фазы по синусоиде включенной обмотки и катушечным группам q = 1 отключенной обмоток (см. Зимин В. И. и др. "Обмотки электрических машин" Л., Энергия, 1976, с. 197–199). Построение графических схем приемлемо только для работающих обмоток, в которых с синусоидами основных магнитных потоков появляются только нечетные гармоники 3, 5, 7, создающие в каждой обмотке соответствующее число полюсов с тем же соотношением.

Если же во включенной обмотке помимо нечетных гармоник появляются другие (четные) гармоники, от которых возникают результирующие ЭДС, то в схемах предусматриваются перемычки или размыкания цепи треугольника. Параллельные ветви образовывать вообще нельзя, так как требуется слишком сложный размыкатель.

При ремонте электродвигателей с заменой обмотки необходимо пользоваться схемами, разработанными на заводах–изготовителях. Они приводятся в специальных каталогах.

При наличии двух или более самостоятельных обмоток в статоре с параллельными ветвями или сопряжением фаз в треугольник необходимо соблюдать согласованность укладки обмоток в пазах. К ним относятся также переключающие обмотки по схеме Даландера и ряд других. Для самостоятельных односкоростных последовательных обмоток, соединением выводов в звезду, при укладке в пазы согласованности начал не требуется. Необходимо отметить еще одну особенность для многоскоростных электродвигателей, имеющих две обмотки: одну – полюсно–переключаемую и вторую – односкоростную с наличием параллельных ветвей, в которых от расположения катушечных групп, включенных последовательно, зависит нормальная работа электродвигателя.

Например, в книгах Л. Г. Рубо "Пересчет и ремонт асинхронных двигателей", выпущенной в 1961 году и справочнике П. Н. Цибулевского "Обмоточные данные асинхронных двигателей", издания 1971 года на стр. 310 и стр. 356 электродвигатели серии А, АО и А2, АО2 с габаритами 81, 82, 83, 84 при $2p$ = 8/6/4, имеют две обмотки – одну полюсно–переключаемую по схеме Даландара △/YY, на $2p$ = 8/4 и вторую независимую – односкоростную на $2p$ = 6 в три параллельные ветви (a = 3), соединенные в звезду (Y). В односкоростной шестиполюсной обмотке в параллельных ветвях катушечные группы, включенные последовательно расположены рядом в первой фазе (1, 4), (7, 10), (13, 16) и соответственно в других фазах.

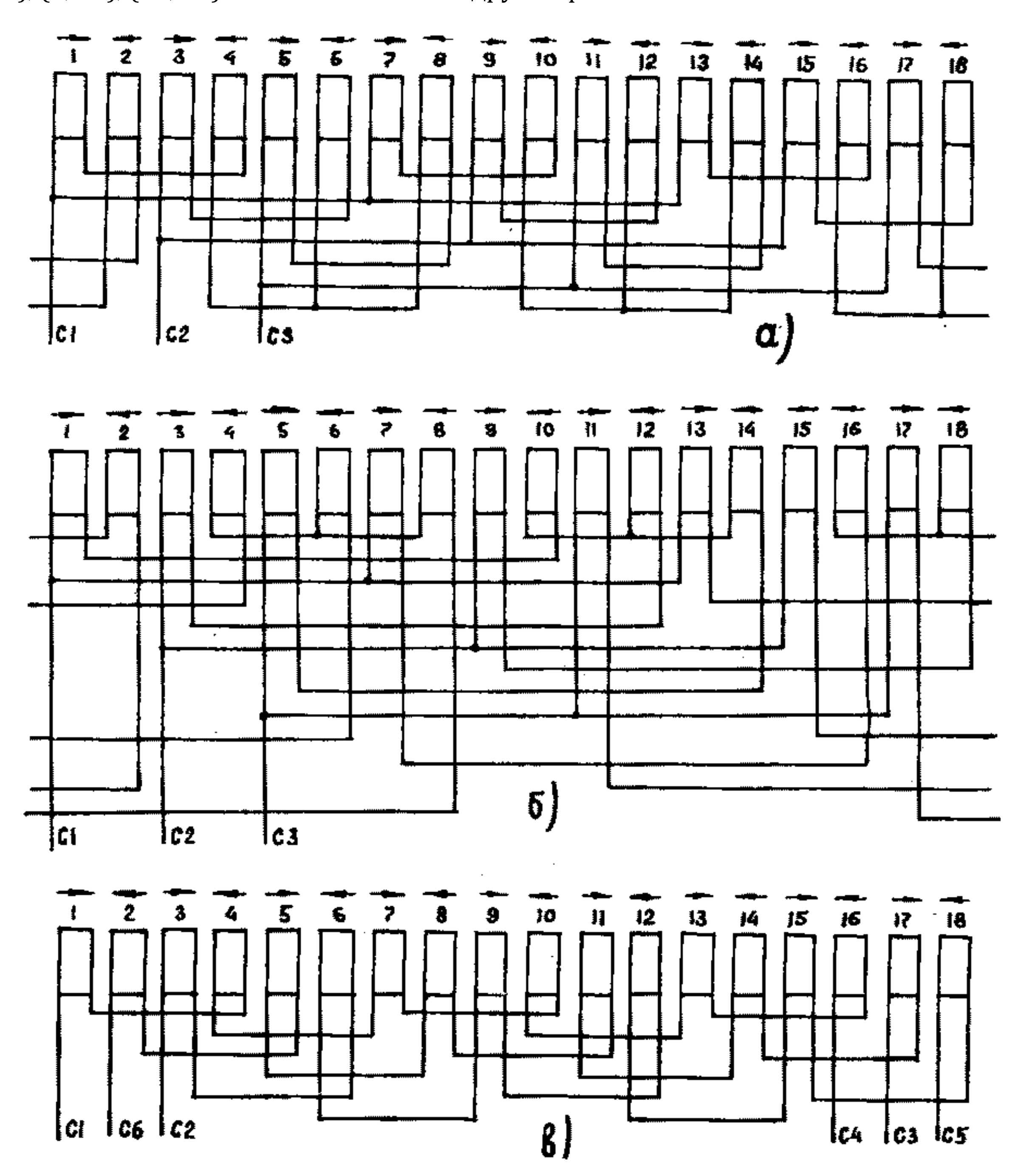


Рис. 32. Схемы двухслойной равносекционной обмотки с условными КГ = 18, Z = 72, q = 4, y = 10 (1 –11)

а) a = 3, в фазе С1–С4 последовательно включены КГ рядом 1,4–7,10–13,16 (не правильно)

б) a = 3, в фазе С1–С4 последовательно включены КГ диаметрально 1,10–7,16–13,4 (правильно)

в) схема обмотки выполнена последовательно целыми фазами.

Несмотря на то, что по графической схеме и существующим признакам в обмотках не должно быть результирующих ЭДС и, казалось бы, не имеет значения расположение катушечных групп, чтобы это могло отразиться на работе электродвигателя, все же он на любой скорости не работает (см. схему, *а*, рис. 32).
Теоретического обоснования в литературе и ссылки в каталогах обмоточных данных об этом не имеется, поэтому этот факт можно объяснить только тем, что при таком расположении катушечных групп возникают другие гармоники, которые индуктируют результирующий ЭДС в фазах. Кроме того, идеально равномерного воздушного зазора по всей окружности получить нельзя, при этом возможны его нарушения, что может привести к наличию уравнительных токов и паразитных сил. Все ремонтные предприятия в основном пользуются схемами этих авторов, но не зная истинной причины, теряют много времени и не добиваются положительного результата. Оказывается, если в параллельные ветви шестиполюсной обмотке 1–й фазы включить последовательно катушечные группы не рядом находящиеся, а через две, диаметрально расположенные на статоре (1, 10) (7, 16) (13, 4) и соответственно в других фазах по схеме (рис. 32*б*), двигатели работают нормально на любом числе полюсов обеих обмоток. При выполнении односкоростной обмотки по указанной схеме создаются условия, при которых возникающие ЭДС уничтожаются, и токи в параллельных ветвях не появляются.
Предусмотреть правильность выбора катушечных групп для последовательного соединения в параллельных ветвях для некоторых обмоток невозможно, это обнаруживается только после выполнения обмотки и испытания электродвигателя.
Во избежание таких явлений можно рекомендовать выполнять односкоростную обмотку по схеме (б) или лучше переходить на последовательную, соединением в звезду, при этом производительнее изготовлять и укладывать ее целыми фазами по схеме (в), рис. 32.
В новой серии 4А такие электродвигатели выполнены с последовательной шестиполюсной обмоткой, сопряжением фаз в звезду, мощностью значительно большей, чем приведенные в серии А и А2.
При переходе на последовательную обмотку число эффективных проводников уменьшается, а сечение или число элементарных проводников увеличивается в количество параллельных ветвей.

6. Расчет обмоточных данных многоскоростных электродвигателей.

6. 1. Определение числа полюсов.

При расчете многоскоростного электродвигателя из односкоростного необходимо знать заводское число полюсов последнего, указанное на паспортной табличке, а при ее утрате оно определяется по формуле:

$$2p = \frac{0{,}35 \times Z \times b}{h} \quad (1) \quad \text{или} \quad 2p = \frac{0{,}5 \times D}{h} \quad (1а)$$

где:
$2p$ – число полюсов;
Z – число зубцов (пазов) статора;
b – ширина зубца статора в *см*.
h – высота спинки статора в *см*.
l – длина сердечника статора в *см*.
D – диаметр расточки статора в *см*.
Размеры статора (сердечника) приведены на рис. 33.

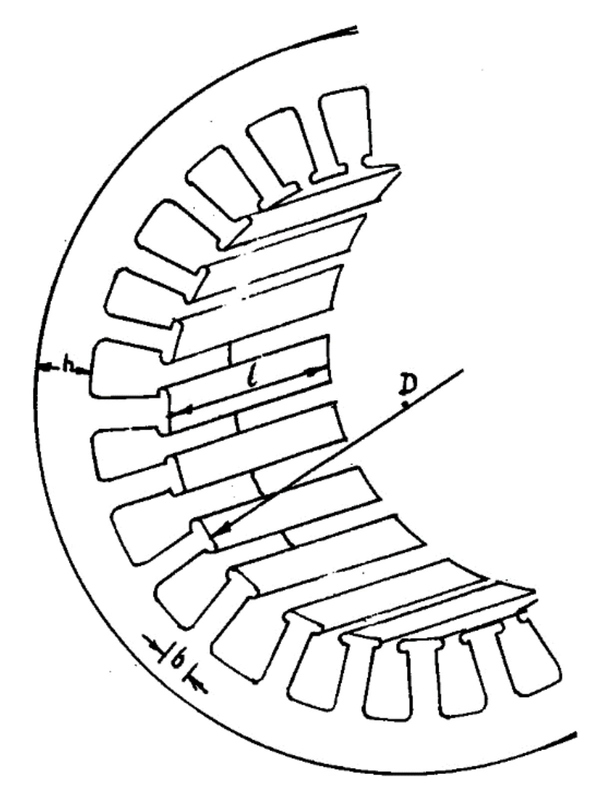


Рис. 33. Размеры сердечника статора.

В результате решения формулы может получиться дробное число, которое округляется до ближайшего целого четного. Если многоскоростной электродвигатель необходимо изготовить с отношением полюсов 2/1 в режиме работы с постоянным моментом, то число полюсов односкоростного электродвигателя должно совпадать с меньшим числом полюсов многоскоростного. При недостаточной высоте спинки статора в двухскоростном электродвигателе повысится магнитная индукция и электродвигатель будет не пригоден для работы на повышенной скорости. Для электродвигателей в режиме работы с постоянной мощностью с отношением 2/1 число полюсов односкоростного электродвигателя может совпадать с большим числом полюсов много скоростного.

6. 2. Определение эффективного числа проводников в пазу статора.

$$N = \frac{2p \times 10^5}{Z^2 \times l \times b \times B\text{з} \times K\text{у}} \quad (2)$$

Формула выведена путем преобразования существующих формул в литературе с учетом частоты тока 50 *гц*, фазного напряжения – 220 *в* и обмоточного коэффициента распределения обмотки по пазам в среднем равным $K_{\text{Р}}$ = 0,96, поэтому полученное число проводников по формуле (2) будет соответствовать только двигателю напряжением 380 *в*, соединением обмотки в звезду (Y).
При другом напряжении сети или соединения обмотки в формулу вводится дополнительный поправочный коэффициент.
Зная число эффективных проводников в пазу статора, необходимо проверить величину магнитной индукции в спинке (Bс в *Теслах*):

$$B\text{с} = \frac{\pi \times 10^4}{Z \times l \times h \times N \times K\text{у}}$$

Если магнитная индукция в спинке статора превысит 1,7 *Тл*, то число эффективных проводников в пазу статора надо увеличить.
N – эффективное число проводников в пазу статора, π = 3,14, Bс – магнитная индукция в спинке статора в *Тл*, Bз – магнитная индукция в зубцах статора в *Тл* (принимается для серий А, Bз = 1,6 *Тл*, для серии А2, Bз = 1,75 *Тл*, для серии 4А и иномарок Bз = 1,85 *Тл*),
Kу – обмоточный коэффициент укорочения принимается для отношения полюсов 2/1 – Kу = 0,85, а для 3/2 и меньшее – Kу = 0,9.

6. 3. Определение сечения эффективного проводника.

Для этого паз заполняют стальными стержнями (спицами) одного размера с установкой необходимой изоляции и клина, просчитывают сколько их вместилось в паз и подставляют в формулу 4.

$$S = \frac{N\text{п} \times S\text{п}}{N} \quad (4)$$

где: N, S – число и сечение в *мм*² эффективных проводников обмоток; Nп, Sп – число и сечение в *мм*² стальных стержней (пробных) вместившихся в паз.

Пробные проводники изготавливаются из стальной проволоки, достаточно трех диаметров – d_1 = 1,5 *мм.*, d_2 = 1,2 *мм.*, d_3 = 0,8 *мм.*, которые необходимо считать условно проводами с изоляцией.

Уменьшая эти диаметры на изоляцию, получим чистые диаметры провода: d_1 = 1,35/1,5 *мм.*, d_2 = 1,06/1,2 *мм.*, d_3 = 0,71/0,8 *мм.* с эмалевой изоляцией и d_1 = 1,25/1,5 *мм.*, d_2= 1,0/1,2 *мм.*, d_3 = 0,63/0,8 *мм.* с эмалеволокнистой изоляцией.

Зная сечение эффективного проводника, можно определить число элементарных проводников ($N_э$) путем деления сечения эффективного проводника (S) на сечение принятого элементарного проводника ($S_э$).

$$N = \frac{S}{S_э} \quad (5)$$

Сечение элементарного проводника берется соответственно диаметра из таблицы стандартов проводов.

6. 4. Определение фазной силы тока.

$$I\text{ф} = S \times\ j \times \text{А} \quad (6)$$

где: Iф – фазная сила тока в A, j – плотность тока в A/*мм*² (см. табл.).

6.5. Определение мощности электродвигателя по ступеням оборотов.

$$P = 3 \times I\text{ф} \times cos\varphi \times \eta \times 10^{-3}\ \text{кВт} \quad (7)$$

где: P – мощность электродвигателя в *кВт*; Iф – фазное напряжение в *в*; cosφ и η – коэффициенты мощности и полезного действия, в произведении (см. в табл.).

Плотность тока, коэффициенты мощности и полезного действия многоскоростных электродвигателей значительно отличаются от односкоростных. Помимо частоты вращения и исполнения эти параметры зависят от количества скоростей, соотношения полюсов, числа обмоток и принятой схемы. Из–за малого заполнения пазов статора плотность тока завышена, а коэффициенты мощности и полезного действия по сравнению с односкоростными ниже во многоскоростных приблизительно на 10–15%.

Выбор этих параметров в таблице для расчета обмоточных данных необходимо производить для каждого отдельного случая и каждой ступени оборотов по мощности многоскоростного электродвигателя.

В таблице приведены приблизительные данные плотности тока, коэффициентов мощности и полезного действия (в произведении) для многоскоростных электродвигателей. Величина кпд и cosφ приняты по данным из книги А. М. Харитонова "Многоскоростные электродвигатели", изданной в 1971 году.

Таблица

P, *кВт*	D, *см.*	$2p = 2 - 4$		$2p = 6 - 8$		$2p = 10 - 16$	
		j	cosφ×η	j	cosφ×η	j	cosφ×η
до 1	до 10	7,8–9	0,50	7,5–8,5	0,47	7,2–8,1	0,45
1–5	10–15	5,5–7	0,62	5,2–6,4	0,52	5,1–6,6	0,50
5–25	15–20	5,3–6,8	0,64	5,1–6,2	0,58	5,0–6,1	0,56
25–75	20–25	5,1–6	0,68	5,0–6	0,62	4,9–5,8	0,62
75–100	25–30	4,5–5	0,7	4–4,6	0,68	3,8–4,3	0,61

В таблице величина плотности тока соответствует исполнению электродвигателям старых серий: для открытого – большее значение, для закрытого – среднее, для взрывозащищенного – меньшее значение. Для новых серий электродвигателей принятые величины из таблицы можно увеличить на 10 процентов.

7. Пример расчета обмоточных данных.

Для подтверждения правильности выведенных формул возьмем электродвигатель с наличием данных в каталоге АО2–41–8/4, напряжением 380 *в*, соединением выводов – треугольник–двойная звезда, с двухслойной обмоткой – N = 54 + 54, d = 0,83 *мм.*, Z = 36, мощностью при $2p$ = 8 – 1,6 *кВт* и при $2p$ = 4 – 2,5 *кВт*. Размеры статора – D = 14,4 *см.*, l = 11 *см.*, b = 0,59 *см.*, h = 1,1 *см.*
Схему сопряжения фаз принимаем такую же – △/YY, в режиме близком с постоянной мощностью, поэтому мощности при $2p$ = 8 и $2p$ = 4 отличаются незначительно. Значит размер спинки статора может соответствовать 8 полюсам.

7. 1. Предварительно проверим пригодность спинки статора для двигателя на $2p$ = 8

$$2p = \frac{0{,}35 \times Z \times b}{h} = \frac{0{,}35 \times 36 \times 0{,}59}{1{,}1} = 6{,}8 = 6$$

При схеме △/YY число полюсов, полученное по формуле, вполне достаточно.
7. 2. Находим число пазов на полюс и фазу:

$$q = \frac{Z}{3 \times 2p\ -\ \text{меньшее}} = \frac{36}{12} = 3$$

7. 3. Определяем шаг обмотки:

$$y = \frac{Z}{2p\ -\ \text{большее}} = \frac{36}{8} = 4{,}5 = 5\ (1 - 6)$$

7. 4. Число катушечных групп при двухслойной обмотке КГф = $2p$ меньшее = 4, КГ = 4 × 3 = 12
7. 5. Определим число эффективных проводников в пазу статора при $2p$ = 8:
Так как при $2p$ = 8 обмотка включена в △, то числитель в формуле необходимо увеличить в 1,73:

$$N\text{п} = \frac{2p \times 10^5 \times 1{,}73}{Z^2 \times l \times b \times B\text{з} \times K\text{у}} = \frac{8 \times 10^5 \times 1{,}73}{36^2 \times 11 \times 0{,}59 \times 1{,}75 \times 0{,}85} = 110$$

Обмотка двухслойная, поэтому N = 55 + 55 проводников в пазу.
Разница в числе проводников по сравнению с заводским равна 2 проводника, что составляет менее 2%. Величину магнитной индукции в спинке статора на $2p$ = 8 нет смысла проверять, а проверим ее на $2p$ = 4.

При переключении обмотки с треугольника на звезду число проводников в пазу должно быть увеличено в 1,73, но так как на $2p$ = 4 образуются две параллельные звезды, то относительное число проводников в пазу уменьшится в 2 раза. Следовательно, при двойной звезде число проводников в пазу условно составит:

$$N_4 = \frac{110 \times 1{,}73}{2} = \text{ 95 проводников}$$

Магнитная индукция в спинке статора при N = 95 будет иметь величину

$$B\text{с} = \frac{\pi \times 10^4 \times 1{,}73}{Z \times l \times h \times N_4 \times K\text{у}} = \frac{31400 \times 1{,}73}{36 \times 11 \times 1{,}1 \times 95 \times 0{,}85} = 1{,}56 \quad \text{Тл}$$

Индукция в спинке статора при $2p$ = 4 в пределах нормы.
7. 6. Определим сечение эффективного проводника.
Вставив в паз корпусную изоляцию (коробочку) и заполнив его стальными стержнями (пробными) d = 1,06/1,2 *мм.*, с учетом места для клина, в него вместилось Nп = 66. Диаметру провода без эмалевой изоляции соответствует сечение Sп = 0,882.
Сечение эффективного проводника рассчитываем по формуле (4). Для $2p$ = 8:

$$S = \frac{N\text{п} \times S\text{п}}{N} = \frac{66 \times 0{,}882}{110} = 0{,}52 \text{ мм}^2$$

Сечение провода соответствует диаметру d = 0,8 *мм.*, который равен расчетному диаметру завода–изготовителя.
7. 7. Выбрав в таблице плотность тока j = 5,8 $A/\text{мм}^2$, находим фазную силу тока:
при $2p$ = 8:

$$I\text{ф} = 0{,}52 \times 5{,}8 = 3\ a$$

при $2p$ = 4:

$$I\text{ф} = 3 \times 2 = 6\ a$$

7. 8. Определим номинальную силу тока:
при $2p$ = 8:

$$I\text{н} = S\text{ф} \times 1{,}73 = 3 \times 1{,}73 = 5{,}2\ \ a$$

при $2p$ = 4:

$$I\text{н} = I\text{ф} = 6\ \ a$$

7. 9. Мощность электродвигателя составит: при $2p$ = 8, в таблице cosφ × η = 0,52

$$P_8 = 3 \times U\text{ф} \times I\text{ф} \times cos\varphi \times \eta \times 10^{-3} = 3 \times 380 \times 3 \times 0{,}52 \times 10^{-3} = 1{,}78 \text{ кВт}$$

при $2p$ = 4, в таблице cosφ × η = 0,62

$$P_4 = 3 \times U\text{ф} \times I\text{ф} \times cos\varphi \times \eta \times 10^{-3} = 3 \times 220 \times 6 \times 0{,}62 \times 10^{-3} = 2{,}45 \text{ кВт}$$

Мощности электродвигателя близки к заводской. Электродвигатели при разном числе полюсов с отношением 2/1 по схеме Даландера (△/YY) предназначены для работы приблизительно с постоянной мощностью потребляемой от сети. Разница мощности на валу электродвигателей при разных числах полюсов объясняется различными коэффициентами – cosφ и к. п. д.

Многоскоростные электродвигатели изготовляются из унифицированной односкоростной серии АИ (АИ – Р, С), выпускаемые в настоящее время заводами и имеющие маркировку и обозначение: АИ – асинхронный "Интерэлектро".
Р, С – два варианта рядов мощностей увязанный к установочным размерам электродвигателей стран СЭВ, при чем с одной высотой осью вращения в варианте ряда Р мощность на одну ступень выше чем в ряде С. Равенство высот оси вращения в основном достигается увеличением толщины лап;
45, 50, 63, 71, 80, 90, 100 и т. д. – высота оси вращения в *мм*.; А, В – первая и вторая длина сердечника для высот оси до 80 *мм*. при одинаковой длине станины;
S, M, L – малая, средняя и большая установочная длина станины и сердечника начиная с высоты оси 90 и более; 2, 4, 6, 8, 10, 12, 4/2, 8/4 и т. д. – число полюсов; ЕС – электромагнитный тормоз. При проектировании электродвигателей серии АИ по сравнению с 4А было уделено повышению мощности за счет применения материалов повышенного класса нагревостойкости и новой холоднокатаной электротехнической стали марки 2214, а для станины и щитов качественного чугуна и алюминия, что позволило улучшить пусковые характеристики и снизить уровень шума. Все модификации электродвигателей с к. з. ротором выполнены закрытыми обдуваемыми и предусмотрены материалы: провод обмоточный ПЭТ (М)–155 и 180 с эмалью на основе полиэфиримидов; пазовая изоляция ПСК (ПСК–М) – пленкосинтокартон (аривсан – полиэтилентерефталат, оклеенный с двух сторон полиарелатной пленкой); пропиточный компаунд КП–50, КП–34 смесь полиэфиров отвержденных пастой перекиси бензоила; изоляционная трубка ТКСП и провод для выводов РКГМ и ПВКФ с изоляцией кремнийорганической резины в оплетке стекловолокном или фторсилоксина.

8. Обмоточные данные многоскоростных электродвигателей напряжением 380 *в* серии АИР, АО2, 4А, АО, Т, лифтовых, преобразователей частоты тока с 220/380 *в*, 50 *гц* на напряжение 36 *в*, 200 *гц* и болгарского производства серии АО.

Данные многоскоростных электродвигателей серии АИР напряжением 380 *в*.

Тип	*2p*	*P, кВт*	*I, A*	*z*	*q*	*y*	*N*	*d, мм*	*G*	*D*	*l*	*L*	*КГ*	*сх*	*Рис.*
71А–4/2	4/2	0,48/0,62	1,51/1,65	36	6	10	89+89	0,35	1			346	6	△/YY	1а
71В–4/2	4/2	0,71/0,85	2,15/2,16	36	6	10	71+71	0,41	1,12			378	6	△/YY	1а
80А–4/2	4/2	1,1/1,5	2,9/3,58	36	6	10	53+53	0,5	0,41			408	6	△/YY	1а
80В–4/2	4/2	1,5/2	3,84/4,67	36	6	10	42+42	0,56	1,53			452	6	△/YY	1а
90L–4/2	4/2	2,2/2,7	5,2/5,7	36	6	10	37+37	0,63	1,88			492	6	△/YY	1а
100S–4/2	4/2	3/3,75	6,6/7,9	36	6	10	34+34	0,85	3,15			500	6	△/YY	1а
100L–4/2	4/2	4,25/4,75	8,9/9,7	36	6	10	28+28	0,95	3,61			558	6	△/YY	1а
112М–4/2	4/2	4,2/5	9,2/10,1	36	6	9	27+27	1	3,5			550	6	△/ YY	1а
132S–4/2	4/2	6/6,7	12,5/14,5	36	6	9	25+25	1,12	4,9			590	6	△/ YY	1а
132М–4/2	4/2	8,5/9,5	17/20	36	6	9	19+19	1,25	5,8			680	6	△/ YY	1а
90L–8/4	8/4	0,7/1,1	2,2/2,5	36	3	5	61+61	0,5	1,64			412	12	△/YY	2а
100S–8/4	8/4	1/1,7	3,55/3,75	36	3	5	63+63	0,56	2,15			374	12	△/YY	2а
100L–8/4	8/4	1,4/2,36	4,8/5	36	3	5	50+50	0,67	2,6			424	12	△/ YY	2а
112МА–8/4	8/4	1,9/3	5,6/6,8	48	4	6	40+40	0,71	3			430	12	△/YY	2а
112МВ–8/4	8/4	2,2/3,6	6,35/8,1	48	4	6	32+32	0,8	3,45			490	12	△/ YY	2а
132S–8/4	8/4	3,2/5,3	8,9/11	48	4	6	29+29	0,9	3,8			470	12	△/ YY	2а
132М–8/4	8/4	4,2/7,1	11/14,6	48	4	6	22+22	1,06	4,7			560	12	△/ YY	2а
160S–4/2	4/2	11/14,5	21/28	48	8	9	13+13	1,32×2	11,7	163	150	690	6	△/ YY	1а
160М–4/2	4/2	14/17,5	27/33	48	8	9	11+11	1,4×2	12,1	163	180	800	6	△/ YY	1а
160S–8/4	8/4	6/10	15/21	48	4	6	19+19	1,5	8,9	180	150	585	12	△/YY	2а
160М–8/4	8/4	9/13	21/25,3	48	4	6	14+14	1,18×2	9,7	180	210	705	12	△/ YY	2а
112М–6/4	6/4			54	1, 2, 3		66	0,75	3,8			524	15	YYY/YYY	27
132S–6/4	6/4			54	1, 2, 3		42	0,8	4,1			490	15	YYY/YYY	27
132М–6/4	6/4			54	1, 2, 3		31	0,85	5,1			508	15	YYY/YYY	27
112МА–8/6	8/6			54	1, 2, 3	7	53+53	0,56	2,8			420	27	YYY/YYY	28
112МВ–8/6	8/6			54	1, 2, 3	7	46+46	0,6	3,1			474	27	YYY/YYY	28
132S–8/6	8/6			54	1, 2, 3	7	64+64	0,85	5			550	27	YYY/YYY	28
132М–8/6	8/6			54	1, 2, 3	7	47+47	1	5,9			640	27	YYY/YYY	28
100S–8/6/4	8/6/4	0,56/1,12/2,8		36	1, 2, 3	6	74+74	0,56	2,4			348	16	△/YY/YYYY	29
100L–8/6/4	8/6/4	0,71/1,2/3		36	1, 2, 3	6	60+60	0,63	2,8			454	16	△/YY/YYYY	29
71А–8/2ЕЭ	8/2	0,09/0,37		36	2		168 и 120	0,38 и 0,3	1,6				12	Y/YY	23
71В–8/2ЕЭ	8/2	0,12/0,55		36	2		13 и 96	0,42 и 0,33	1,3				12	Y/YY	23
80А–8/2ЕЭ	8/2	0,18/0,75		36	2		98 и 84	0,53 и 0,4	1,6				12	Y/YY	23
80В–8/2ЕЭ	8/2	0,25/1,1		36	2		78 и 67	0,6 и 0,45	1,8				12	Y/YY	23
90L–8/2ЕЗ	8/2	0,37/1,5		36	2		63 и 54	0,67 и 0,5	2				12	Y/YY	23
71В–16/4ЕЭ	16/4	0,04/0,25		36	1		198 и 99	0,3	0,8				24	Y/YY	24
80А–16/4ЕЭ	16/4	0,07/0,37		36	1		192 и 96	0,35	1				24	Y/YY	24
80В–16/4ЕЭ	16/4	0,12/0,55		36	1		130 и 65	0,45	0,5				24	Y/YY	24
90L–16/4ЕЭ	16/4	0,15/0,75		36	1		112 и 56	0,5	1,4				24	Y/YY	24

Данные многоскоростных электродвигателей серии 4А напряжением 380 *в*.

Тип	*2p*	*P, кВт*	*I, A*	*z*	*q*	*y*	*N*	*d, мм*	*G*	*D*	*l*	*L*	*КГ*	*сх*	*Рис.*
56А4/2	4/2	0,1/0,14	0,35/0,45	24	4	7	243+243	0,21	0,46	55	47	250	6	△/YY	1а
56В4/2	4/2	0,12/0,18	0,43/0,56	24	4	7	216+216	0,21	0,46	56	56	276	6	△/YY	1а
63А4/2	4/2	0,19/0,265	0,67/0,78	24	4	7	179+179	0,25	0,54	61	56	284	6	△/YY	1а
63В4/2	4/2	0,224/0,37	0,8/0,9	24	4	7	156+156	0,28	0,59	61	65	305	6	△/YY	1а
71А4/2	4/2	0,45/0,75	1,6/2,1	24	4	7	109+109	0,35	0,82	70	65	376	6	△/YY	1а
71В4/2	4/2	0,63/0,95	1,9/2,46	24	4	7	85+85	0,4	1	70	74	396	6	△/YY	1а
80А4/2	4/2	1,1/1,5	2,9/4	36	6	10	51+51	0,49	1,39	84	78	440	6	△/YY	1а
90LА4/2	4/2	1,5/2	3,8/4,4	36	6	10	44+44	0,56	1,71	95	90	464	6	△/YY	1а
90LВ4/2	4/2	2/2,5	2,7/5,3	36	6	10	36+36	0,63	2	95	120	524	6	△/YY	1а
100S4/2	4/2	2,65/3,4	5,8/7,1	36	6	10	34+34	0,8	2,9	105	110	518	6	△/YY	1а
100L4/2	4/2	3,2/4,2	7/8,7	36	6	10	28+28	0,9	3,37	105	140	578	6	△/YY	1а
112М4/2	4/2	4,2/5	9/11	36	6	9	26+26	0,95	3,31	126	125	572	6	△/YY	1а
132S4/2	4/2	6/6,7	12/14	36	6	9	24+24	1,18	4,96	145	115	596	6	△/YY	1а
132М4/2	4/2	8,5/9,5	17/20	36	6	9	18+18	0,95	5,85	145	160	686	6	△/YY	1а
160S4/2	4/2	11/14,5	22,4/26,4	48	8	13	14+14	1,18×2	8,9	185	140	765	6	△/YY	1а
160М4/2	4/2	14/17	27/31,7	48	8	13	11+12	1,06×2	11,4	185	180	845	6	△/YY	1а
180S4/2	4/2	18/21	95,3/38,2	48	8	13	11+11	1,25×3	15	211	145	855	6	△/YY	1а
180М4/2	4/2	22/26,5	41/48	48	8	13	9+9	1,4×3	16,8	211	185	935	6	△/YY	1а
200L4/2	4/2	33,5/37	62,3/65	48	8	13	7+7	1,32×5	21,2	238	215	1020	6	△/YY	1а
225М4/2	4/2	42,5/45	87,2/78,9	48	8	13	6+6	1,4×6	27,2	264	200	1055	6	△/YY	1а
250S4/2	4/2	50/60	91,4/105,3	60	10	15	4+5	1,6×8	43,8	290	220	1175	6	△/YY	1а
250М4/2	4/2	60/71	107,7/123	60	10	15	4+4	1,6×9	46,8	290	260	1255	6	△/YY	1а
100L8/4	8/4	1,4/2,4	4,5/5,2	36	3	5	48+48	0,67	2,55	113	140	460	12	△/YY	2а
112МА8/4	8/4	1,9/3	5,7/6,8	48	4	6	40+40	0,71	3,06	132	100	430	12	△/YY	2а
112МВ8/4	8/4	2,2/3,6	6,5/8,1	48	4	6	32+32	0,8	3,46	132	130	490	12	△/YY	2а
132S8/4	8/4	3,2/5,3	8,9/11	48	4	6	29+29	0,9	3,82	158	115	472	12	△/YY	2а
132М8/4	8/4	4,2/7,2	11/14	48	4	6	22+22	1,06	4,62	158	160	562	12	△/YY	2а
160S8/4	8/4	6/9	18,5/16,8	48	4	6	20+20	1,32	4,91	197	145	585	12	△/YY	2а
160М8/4	8/4	9/13	25,2/24,4	48	4	6	15+15	1,06×2	8,01	197	200	695	12	△/YY	2а
180М8/4	8/4	13/18	30/33,3	72	6	10	11+11	1,25×2	13,2	220	170	710	12	△/YY	2а
200М8/4	8/4	17/25	38,2/45,5	72	6	9	19+19	1,5	15,1	250	160	685	12	(△/YY)2	2б
200L8/4	8/4	20/28	43,5/50,6	72	6	9	17+17	1,12×2	16,1	250	185	735	12	(△/YY)2	2б
225М8/4	8/4	22,4/33,5	52,3/63,6	72	6	9	7+7	1,6×3	20,5	284	185	785	12	△/YY	2а
250S8/4	8/4	30/45	62,7/80,2	72	6	9	6+7	1,5×4	25,8	317	200	865	12	△/YY	2а
250М8/4	8/4	37/55	75,5/97,6	72	6	9	11+11	1,32×3	26,6	317	220	905	12	(△/YY)2	2б
180М12/6	12/6	6,7/11	21,5/21,1	72	4	6	15+15	1,06×2	11,3	220	170	620	18	△/YY	3а
200М12/6	12/6	9/14	27,8/27	72	4	6	13+13	1,25×2	12,3	250	160	595	18	△/YY	3а
200L12/6	12/6	10/14	29,9/32,5	72	4	6	11+12	1,12×3	14,3	250	185	645	18	△/YY	3а
225М12/6	12/6	12,5/22	36/41,9	72	4	6	10+11	1,6×2	17,9	284	175	685	18	△/YY	3а
250S12/6	12/6	16/28	44/52	72	4	6	26+26	1,6	24,2	317	200	750	18	(△/YY)3	3б
250М12/6	12/6	18,5/35,5	51,5/65,6	72	4	6	23+23	1,6	23,7	317	220	790	18	(△/YY)3	3б
180М8/6	8/6	13/15	28,9/29,8	72	1,2,5,6	9	10+10	1,32×2	11	220	170	620	22	△/YY	8
200М8/6	8/6	15/18,5	32,5/35,5	72	1,2,5,6	9	10+10	1,18×3	14,5	250	160	680	22	△/YY	8
200L8/9	8/6	18,5/22	39,4/42	72	1,2,5,6	9	8+9	1,12×4	15	250	185	730.	22	△/YY	8
225М8/6	8/6	22/30	51,7/59,2	72	1,2,5,6	9	7+7	1,32×4	19,2	284	175	770	22	△/YY	8
250S8/6	8/6	30/37	64,5/70,1	72	1,2,5,6	9	6+6	1,4×5	26,4	317	200	880	22	△/YY	8
250М8/6	8/6	40/55	84,5/102,8	72	1,2,5,6	9	5+5	1,4×6	28,8	317	240	960	22	△/YY	8
160S8/6	8/6	7,1/8,5	18,1/20,2	54	1,2,3	7	29+29	1,0	6,8	197	145	610	33	YYY/YYY	7
160М8/6	8/6	9,5/11	23,8/24,2	54	1,2,3	7	21+21	1,18	8,1	197	200	720	33	YYY/YYY	7
160S6/4	6	7,1	16,1	54	3	9	7	1,18×2	2,51	197	145	670	9	YY/△	4
	4	8,5	17,7		3	9	12+12	1,18	4,2			655	18		

Данные многоскоростных электродвигателей серии 4А напряжением 380 *в*.
(продолжение)

Тип	*2p*	*P, кВт*	*I, A*	*z*	*q*	*y*	*N*	*d, мм*	*G*	*D*	*l*	*L*	*КГ*	*сх*	*Рис.*
160M6/4	6	11	23,8	54	3	9	5×2	1,32	2,62	197	200	780	9	YY/△	4
	4	13	26,3		3	9	9+9	1,4	5,2			765	18		
180M6/4	6	13		72	4	12	4×3	1,25	3,1	220	145	660	9	YY/△	4
	4	17			4	13	8+8	1,25×2	4,5			695	18		
200M6/4	6	17		72	4	12	3×4	1,5	5,1	250	160	740	9	YY/△	4
	4	22			4	13	6+6	1,32×2	4,9			800	18		
100S8/6	8/6	0,7/0,9		36	1+1	5	210	0,47	2,61	113	110	436	18	YYY/YYY	6
100L8/6	8/6	1/1,3		36	1+1	5	166	0,5	2,81	113	140	496	18	YYY/YYY	6
100S6/4	6/4	1,8/2,1		36	1,2,3	6	148	0,53	2,3	105	110	435	15	YYY/YYY	5
100L6/4	6/4	2,5/2,8		36	1,2,3	6	114	0,63	2,81	105	140	494	15	YYY/YYY	5
112M6/4	6/4	2,8/3,2	8,2/7,4	36	1,2,3	6	102	0,63	2,62	126	125	482	15	YYY/YYY	5
132S6/4	6/4	4/4,5	11/10	36	1,2,3	6	90	0,85	4,2	145	115	492	15	YYY/YYY	5
132M6/4	6/4	6/6,2	16/14	36	1,2,3	6	64	1,0	4,8	145	160	582	15	YYY/YYY	5
112MA8/6	8	1,1	3,5	54	2,3	6	22+22	0,63	1,28	132	100	340	24	Y	
	6	1,3	3,7		3	9	35	0,63	1,15			438	9	Y	
112MB8/6	8	1,4	4,2	54	2,3	6	19+19	0,67	1,46	132	125	440	24	Y	
	6	1,7	4,5		3	9	29	0,67	1,24			488	9	Y	
132S8/6	8	2,4	6,9	54	2,3	6	15+15	0,85	1,92	158	115	444	24	Y	
	6	2,6	6,9		3	9	22	0,85	1,62			512	9	Y	
132M8/6	8	2,8	7,9	54	2,25	6	11+11	1,0	2,28	158	160	444	24	Y	
	6	3,2	8,3		3	9	17	0,95	1,83			512	9	Y	
100S8/6/4	8/4	0,71/1,3		36	3	5	64+64	0,47	1,49	113	110	400	12	△/YY	2а
	6	0,9			2	7и5	51	0,56	0,85			430	9	Y	
100L8/6/4	8/4	0,9/1,7		36	3	5	50+50	0,5	1,56	113	140	460	12	△/YY	2а
	6	1,2			2	7и5	40	0,63	0,97			490	9	Y	
112MA8/6/4	8/4	1,1/1,5	3,3/3,5	54	4 и 5	7	41+41	0,5	1,61	132	100	422	12	△/YY	2а
	6	1	3,6		3	9	34	0,56	0,88			438	9	Y	
112MB8/6/4	8/4	1,4/2,1	4/4,2	54	4 и 5	7	34+34	0,53	1,76	132	125	472	12	△/YY	2а
	6	1,2	5		3	9	28	0,63	1,02			488	9	Y	
132S8/6/4	8/4	1,9/3,2	5,7/7,3	54	4 и 5	7	31+31	0,63	2,08	158	115	450	12	△/YY	2а
	6	2,2	5,9		3	9	24	0,75	1,31			512	9	Y	
132M8/6/4	8/4	2,6/4,5	7,6/9,8	54	4 и 5	7	22+22	0,75	2,53	158	160	540	12	△/YY	2а
	6	2,8	7,3		3	9	18	0,85	1,56			602	9	Y	
160S8/6/4	8/4	4/7,5	13,7/15,9	54	4 и 5	7	18+18	1,0	4,01	197	145	585	12	△/YY	2а
	6	4,5	11,4		3	9	15	1,0	2,92			670	9	Y	
160M8/6/4	8/4	5/10	15,4/20,3	54	4 и 3	7	14+14	1,12	4,72	197	200	695	12	△/YY	2а
	6	6,3	15,2		3	9	11	1,25	2,63			780	9	Y	
180M8/6/4	8/4	8/12,5	22,7/24,6	72	6	9	11+11	1,32	6,72	220	170	680	12	△/YY	2а
	6	10	17,2		4	9	4+5	1,25	4,91			680	18	Y	
200M8/6/4	8/4	11/18,5	27,4/34,7	72	6	9	9+10	1,18	9,32	250	160	685	12	△/YY	2а
	6	12	26,4		4	10	4+4	1,25×2	4,63			710	18	Y	
200L8/6/4	8/4	14/21	35,3/39,3	72	6	9	8+8	1,25×2	9,5	250	185	735	12	△/YY	2а
	6	15	31,9		4	10	3+4	1,4×3	5,41			760	18	Y	
225M8/6/4	8/4	17/25	38,6/47,5	72	6	9	8+8	1,4×2	12,2	284	175	675	12	△/YY	2а
	6	18,5	37,3		4	10	3+4	1,25×3	6,61			785	18	Y	
250S8/6/4	8/4	20/30	42,6/54,7	72	6	9	7+7	1,32×3	16,2	317	200	865	12	△/YY	2а
	6	22	47,9		4	10	2+3	1,32×4	7,91			890	18	Y	
250M8/6/4	8/4	25/37	57/683	72	6	9	11+11	1,25×2	15,9	220	220	905	12	(△/YY)2	2б
	6	28	59,2		4	10	2+3	1,5×4	9,91			930	18	Y	
100S8/4/2	8	0,63		36	2 и 1	4 и 5	71	0,63	1,43	105	110	407	12	Y	1а
	4/2	1,1/1,5			6	10	37+37	0,47	1,18			558	6	△/YY	

Данные многоскоростных электродвигателей серии 4А напряжением 380 *в*.
(продолжение)

Тип	*2р*	*P, кВт*	*I, A*	*z*	*q*	*y*	*N*	*d, мм*	*G*	*D*	*l*	*L*	*КГ*	*сх*	*Рис.*
100L8/4/2	8	0,9		36	2 и 1	4 и 5	57	0,67	1,55	105	140	467	12	Y	1а
	4/2	1,5/2,1			6	10	29+29	0,53	1,32			618	6	△/YY	
112M8/4/2	8	1,1	3,8	36	2 и 1	4 и 5	55	0,67	1,31	126	125	446	12	Y	
	4/2	1,9/2,2	4,7/55		6	9	30+30	0,56	1,35			572	6	△/YY	1а
132S8/4/2	8	1,8	6	36	1 и 2	5 и 4	46	0,9	2,12	145	115	440	12	Y	
	4/2	3/3,6	7,2/9,1		6	9	25+25	0,75	2,11			596	6	△/YY	1а
132M8/4/2	8	2,4	7,6	36	1 и 2	5 и 4	34	1,0	2,33	145	160	530	12	Y	1а
	4/2	4,5/5,9	10/12		6		18+18	0,85	2,36			686	6	△/YY	
160S8/4/2	8	3,8	3,8	48	2	6	59	1,18	3,71	185	140	555	12	Y	1а
	4/2	4,25/6,3	3,25/6,3		8	13	31+31	1,0	4,02			780	6	△/YY	
160M8/4/2	8	5	5	48	2	6	21	1,32	4,01	185	180	635	12	Y	1а
	4/2	7,1/9,5	7,1/9,5		8	13	12+13	1,18	5,12			860	6	△/YY	
100S6/4/2	6	1		36	2	6	48	0,71	1,36	105	110	428	9	Y	1а
	4/2	1,1/1,5			6	10	37+37	0,47	1,18			558	6	△/YY	
100L6/4/2	6	1,4		36	2	6	37	0,85	1,6	105	140	448	9	Y	1а
	4/2	1,5/2,1			6	10	29+29	0,53	1,32			618	6	△/YY	
112M6/4/2	6	1,6	4,5	36	2	6	41	0,67	1,33	126	125	482	9	Y	1а
	4/2	2,2/2,8	5,2/6,6		6	10	30+30	0,63	1,71			572	6	△/YY	
132S6/4/2	6	2,8	7,3	36	2	6	34	0,9	1,76	145	115	490	9	Y	1а
	4/2	3,6/4,2	8,1/9,9		6	9	25+25	0,85	2,65			596	6	△/YY	
132M6/4/2	6	3,8	9,6	36	2	6	25	1,06	2,2	145	160	580	9	Y	1а
	4/2	5/6	11/13		6	9	19+19	0,95	2,91			686	6	△/YY	
160S6/4/2	6	4,8	11,2	36	3	6	12+12	1,18	3,11	185	140	550	18	Y	1а
	4/2	53/7,5	11,4/14,7		8	13	15+15	1,12	4,43			780	6	△/YY	
160M6/4/2	6	6,7	14,8	36	3	6	9+9	1,4	3,82	185	180	630	18	Y	1а
	4/2	7,5/10,5	15,6/21,2		8	13	12+12	1,18	4,91			860	6	△/YY	
100S8/6/4/2	8/6	0,5/0,63		36	1+1	5	69+69	0,45	1,51	113	110	436	18	△/YY	6
	4/2	0,9/1,1			6	10	39+39	0,4	1,01			518	6		1а
100L8/6/4/2	8/6	0,71/0,85		36	1+1	5	54+54	0,5	1,82	113	140	436	18	△/YY	6
	4/2	4/6,7			6	10	31+31	0,45	1,02			518	6		1а
160M12/8/6/4	12/6	1,8/4,25	12,2/9,5	54	3	5	21+21	0,8	3,2	197	200	630	18	△/YY	3а
	8/4	4/6,7	14,3/14,4		4	7	14+14	0,9	3,01			695	12		3а
180M12/8/6/4	12/6	3/6	10,2/12,2	72	4	7	17+17	1,0	5,5	220	170	635	18	△/YY	3а
	8/4	5/8	12,6/15,6		6	10	12+12	1,12	5,4			700	12	△/YY	2а
200M12/8/6/4	12/6	5/8,5	16/17,2	72	4	6	15+15	1,18	6,3	250	160	595	18	△/YY	2а
	8/4	8/12	20,8/23,7		6	9	10+10	1,4	6,9			685	12	△/YY	2а
200L12/8/6/4	12/6	6/10,5	19,9/20,9	72	4	6	12+13	1,32	7,2	250	185	645	18	△/YY	3а
	8/4	10/15	24,7/28,8		6	9	9+9	1,5	7,2			735	12	△/YY	2а
225M12/8/6/4	12/6	7,1/13	22,5/44,8	72	4	6	12+12	1,4	7,91	284	177	655	18	△/YY	3а
	8/4	12,5/20	34/38,2		6	9	15+15	1,25	9,2			765	12	△/YY	2а
250S12/8/6/4	12/6	9/18,5	31,6/40,3	72	4	6	10+10	1,18×2	10,7	317	202	750	18	△/YY	3а
	8/4	17/26,5	43,8/57,4		6	9	7+7	1,4×2	12,1			865	12	△/YY	2а
250M12/8/6/4	12/6	12/24	36,7/46,6	72	4	6	8+8	1,32×2	11,2	317	222	790	18	△/YY	3а
	8/4	22/30	49,7/55,9		6	9	6+6	1,5×2	12,5			905	12	△/YY	2а

Электродвигатели новой серии 4А — закрытого исполнения и 4АН — открытого исполнения в настоящее время сняты с выпуска. На основе 4 серии разработаны и выпускаются электродвигатели серии АН. Обе серии имеют идентичное обозначение и маркировку.

Данные многоскоростных электродвигателей серии АО2 напряжением 380 *в*.

Тип	*2p*	*P, кВт*	*I, A*	*z*	*q*	*y*	*N*	*d, мм*	*G*	*D*	*l*	*L*	*КГ*	*сх*	*Рис.*
АО2–31–4/2	4/2	1,8/2,3	4,5/5,3	36	6	10	43+43	0,75	3	112	88	490	6	△/YY	1а
АО2–32–4/2	4/2	2,3/2,9	5,4/6,2	36	6	10	35+35	0,85	3,4	112	115	544	6	△/YY	1а
АО2–31–6/4	6	0,75	2,4	36	2	6	67	0,6	1,24	112	88	410	9	Y	
П.М.	4	1,1	2,7		3	9	52	0,71	1,5			466	6	Y	
АО2–32–6/4	6	1,1	3,2	36	2	6	52	0,71	1,5	112	115	464	9	Y	
П.М.	4	1,6	3,8		3	9	41	0,8	1,64			520	6	Y	
АО2–31–6/4	6	0,9	2,6	36	2	6	67	0,67	1,46	112	88	410	9	Y	
П.Р.	4	0,9	2,2		3	9	55	0,63	1,28			466	6	Y	
АО2–32–6/4	6	1,2	3,4	36	2	6	52	0,71	1,61	112	115	464	9	Y	
П.Р.	4	1,2	2,9		3	9	45	0,67	1,45			520	6	Y	
АО2–31–6/4/2	6	0,75	2,4	36	2	6	68	0,56	1,18	112	88	410	9	Y	1а
	4/2	0,9/1,2	2,5/2,9		6	10	50+50	0,5	1,52			466	6	△/YY	
АО2–32–6/4/2	6	1,1	3,3	36	2	6	52	0,67	1,41	112	115	464	9	Y	1а
	4/2	1,3/1,7	3,3/3,8		6	10	39+39	0,56	1,66			520	6	А /YY	
АО2–41–4/2	4/2	3,3/4,1	7,2/8,7	36	6	10	33+33	1,04	5,56	133	110	606	6	△/YY	1а
АО2–42–4/2	4/2	4,7 /5,5	9,6/11	36	6	10	25+25	1,12	6,4	133	148	682	6	△/YY	1а
АОЛ2–11–4/2	4/2	0,45/0,6	1,4/1,5	24	4	7	143+143	0,35	1,2	80	54		6	△/YY	1а
АОЛ2–21–4/2	4/2	0,7/0,9	3/3	24	4	7	100+100	0,5	1,8	94	70		6	△/YY	1а
АОЛ2–22–4/2	4/2	1/1,4	3,6/3,2	24	4	7	79+79	0,56	2,15	94	97		6	△/YY	1а
АОЛ2–31–6/4/2	6	0,75	2,4	36	2	6	74	0,53	1,1	112	90		9	Y	1а
	4/2	0,9/1,2	2,5/2,93		6	10	56+56	0,47	1,62				6	△/YY	
АОЛ2–32–6/4/2	6	1,1	3,27	36	2	6	52	0,67	1,41	112	117		9	Y	1а
	4/2	1,3/1,7	3,3/3,39		6	10	39+39	0,56	1,72				6	△/YY	
АО2–11–4/2	4/2	0,45/0,6	1,4/1,5	24	4	7	125+125	0,38	1,16	80	52		6	△/YY	1а
АО2–12–4/2	4/2	0,6/0,85	1,7/2,1	24	4	7	110+110	0,42	1,26	80	65		6	△/YY	1а
АО2(Л)–21–4/2	4/2	1/1,3	3/3	24	4	7	88+88	0,53	1,87	94	70		6	△/YY	1а
АО2–22–4/2	4/2	1,4/1,9	3,6/3,2	24	4	7	67+67	0,63	2,18	94	95		6	△/YY	1а
АО2–71–4/2	4/2	15,5/19,5	32/38,5	36	6	10	12+12	1,4×3	17,4	214	165		6	△/YY	1а
АО2–72–4/2	4/2	19/24,5	38/47,5	36	6	10	10+10	1,6×3	19,4	214	205		6	△/YY	la
АО2–81–4/2	4/2	32/38	58,9/69,5	48	8	13	7+7	13×5	27,6	247	190		6	△/YY	1а
АО2–82–4/2	4/2	38/45	68,7/80,7	48	8	13	6+6	1,5×6	30,4	247	245		6	△/YY	1а
АО2–81–8/4	4/2	19/28	41,6/51,9	72	6	10	8+8	1,5×3	22,5	285	190		12	△/YY	2а
АО2–41–8/4	8/4	1,6/2,5	4,9/5,4	36	3	5	54+54	0,85	4,55	144	110	474	12	△/YY	2а
АО2–42–8/4	8/4	2,3/3,9	7/8,1	36	3	5	40+40	0,95	5,25	144	148	550	12	△/YY	2а
АО2–41–6/4	6	1,8	4,7	36	2	6	47	0,95	2,84	133	110	508	9	Y	
П.Р.	4	1,8	4		3	9	41	0,85	2,11			580	6	Y	
АО2–42–6/4	6	2,4	6,1	36	2	6	35	1,12	3,33	133	148	584	9	Y	
П.Р.	4	2,4	5,2		3	9	31	0,9	2,15			656	6	Y	
АО2–41–6/4	6	1,6	4,2	36	2	6	49	0,85	2,38	133	110	508	9	Y	
П.М.	4	2,3	5,2		3	9	37	0,95	245			580	6	Y	
АО2–42–6/4	6	2,1	5,2	36	2	6	38	0,95	2,66	133	148	584	9	Y	
П.М.	4	3	64		3	9	29	1,12	3,11			656	6	Y	
АО2–41–6/4/2	6	1,7	4,3	36	2	6	49	0,85	2,38	133	110	508	9	Y	1а
	4/2	2/2,4	4,7/55		6	10	35+35	0,71	2,62			606	6	△/YY	
АО2–42–6/4/2	6	2,1	5,3	36	2	6	38	0,85	2,66	133	148	584	9	Y	1а
	4/2	2,4/2,9	5,5/6,4		6	10	30+30	0,75	2,91			682	6	△/YY	
АО2–51–4/2	4/2	6,1/7,3	12,9/15,1	36	6	10	22+22	1,5	9	158	135	718	6	△/YY	1а
АО2–52–4/2	4/2	8,3/10,2	17,2/20,2	36	6	10	18+18	1,18×2	10,8	158	170	788	6	△/YY	1а
АО2–51–6/4	6	3,1	7,8	36	2	6	35	1,18	3,73	158	135	574	9	Y	
П.М.	4	4,7	10,1		3	9	23	1,5	4,17			676	6	Y	
АО2–52–6/4	6	4,5	11	36	2	6	26	1,4	4,18	158	170	644	9	Y	
П.М.	4	6,7	14		3	9	19	1,6	4,73			746	6	Y	

Данные многоскоростных электродвигателей серии АО2 напряжением 380 *в*.
(продолжение)

Тип	*2р*	*Р, кВт*	*I, А*	*z*	*q*	*y*	*N*	*d, мм*	*G*	*D*	*l*	*L*	*КГ*	*сх*	*Рис,*
АО2–51–6/4	6	3,7	9	36	2	6	33	1,4	4,4	158	135	574	9	Y	
П. Р.	4	3,7	8,2		3	9	25	1,25	3,38			676	6	Y	
АО2–52–6/4	6	4,7	11	36	2	6	27	1,5	4,98	158	170	644	9	Y	
П. Р.	4	4,7	10,1		3	9	20	1,4	3,73			746	6	Y	
АО2–51–8/4	8/4	3/4,8	8,95/10,5	36	3	5	36+36	1,12	6,5	173	135	572	12	△/YY	2а
АО2–52–8/4	8/4	4,1/6,6	12,1/14,2	36	3	5	27+27	1,32	7,85	173	190	672	12	△/YY	2а
АО2–51–6/4/2	6	3	7,6	36	2	6	35	1,18	3,73	158	135	574	9	Y	1а
	4/2	3,3/4	8,25/9,1		6	9	28+28	0,95	4,46			718	6	△/YY	
АО2–52–6/4/2	6	4	10	36	2	6	28	1,4	4,18	158	170	644	9	Y	1а
	4/2	4,5/5,7	9,8/12,3		6	9	22+22	1,06	4,8			788	6	△/YY	
АО2–61–4/2	4/2	8,5/10	18/20	36	6	10	18+18	1,32×2	12,1	180	138	772	6	△/YY	1а
АО2–62–4/2	4/2	11,5/14,5	24/28,6	36	6	10	15+15	1,4×2	12,1	180	168	832	6	△/YY	1а
АО2–61–8/4	8/4	5,5/8,5	13,7/17,3	54	4 и 5	7	20+20	1,5	9,85	206	153	600	12	△/YY	2а
АО2–62–8/4	8/4	7/10,5	17,1/21	54	4 и 5	7	15+15	1,6	10,35	206	193	680	12	△/YY	2а
АО2–61–12/6	12/6	3,2/6	12,5/13	54	3	7	25+25	1,32	8,8	206	153	532	18	△/YY	3а
АО2–62–12/6	12/6	3,8/7,5	14,7/15,4	54	3	7	21 +21	1,4	9,9	206	193	612	18	△/YY	3а
АО2–61–8/6/4	8/4	3,8/6	10,25/12,6	54	4 и 5	7	20+20	1,06	5,48	206	153	600	12	△/YY	2а
	6	4,8	11,5		3	7	17+17	0,96	3,71				18	(Y)2	
АО2–62–8/6/4	8/4	4,6/7,5	12,8/15,35	54	4 и 5	7	17+17	1,18	6,52	206	193	680	12	△/YY	2а
	6	5,7	12,6		3	7	15+15	1,06	4,36				18	(Y)2	
АО2–61–12/8/6/4	12/6	1,6/3,2	7/7,2	54	3	7	31+31	0,8	4,16	206	153	532	18	△/YY	3а
	8/4	3,2/5	8,7/10,6		4 и 5	7	22+22	0,9	415				12	△/YY	2а
АО2–62–12/8/6/4	12/6	2/4,6	8,45/10,15	54	3	7	24+24	0,9	4,75	206	193	612	18	△/YY	3а
	8/4	4/6,5	10,6/13,5		4 и 5	7	17+17	1,06	4,92			680	12	△/YY	2а
АО2–71–8/4	8/4	10/14,5	22,6/31,6	54		4 и 5	14+14	1,32×2	12,8	245	168	706	12	△/YY	2а
АО2–72–8/4	8/4	13,5/19,5	30,5/19,5	54	4 и 5	7	12+12	1,5×2	16,3	245	208	786	12	△/YY	2а
АО2–71–12/6	12/6	6,4/11	20,8/22,1	54	3	5	18+18	1,18×2	11,6	245	168	632	18	△/YY	3а
АО2–82–8/4	8/4	24/34	51,8/61,7	72	6	10	6+6	1,5×4	26,4	285	260		12	△/YY	2а
АО2–91–8/4	8/4	34,4/50,6	68/90,8	72	6	10	5+5	1,6×5	34,7	334	240		12	△/YY	2а
АО2–92–8/4	8/4	46,8/65,4	91,2/115,2	72	6	10	4+4	1,6×6	40	354	330		12	△/YY	2а
АО2–72–12/6	12/6	7,5/14	28,4/30,1	54	3	5	14+14	1,4×2	14,7	245	205		12	△/YY	3а
АО2–81–12/6	12/6	10/19	32,1/36,8	72	4	7	11+11	1,6×2	19,7	285	190		18	△/YY	3а
АО2–82–12/6	12/6	14/25	44,4/47,9	72	4	7	8+8	1,5×3	23	285	260		18	△/YY	3а
АО2–91–12/6	12/6	22/35,8	53/67,2	72	4	7	7+8	1,5×4	28,2	334	240		18	△/YY	3а
АО2–92–12/6	12/6	29,5/53,3	71/99,3	72	4	7	5+6	1,6×5	36	334	330		18	△/YY	3а
АО2–71–8/6/4	8/4	7,1/10,5	17,5/21,2	54	4 и 5	7	15+15	1,4	7,9	245	165		12	△/YY	2а
	6	8,3	17,9		3	7	7+7	1,16×2	4,9				18	Y	
АО2–72–8/6/4	8/4	9,2/13,5	22,4/27	54	4 и 5	7	12+12	1,6	8,4	245	205		12	△/YY	2а
	6	10,7	22,8		3	7	5+5	1,32×2	4,8				18	Y	
АО2–81–8/6/4	8/4	13/19	31/36,9	72	6	10	8+8	1,4×2	12,3	285	190		12	△/YY	2а
	6	15	30,5		4	10	4+4	1,6×2	6,85				18	Y	
АО2–82–8/6/4	8/4	17/25	36,2/47,4	72	6	10	7+7	1,5×2	12,4	285	260		12	△/YY	2а
	6	20	39,2		4	10	3+3	1,32×4	8,6				18	Y	
АО2–91–8/6/4	8/4	24/31,9	49,3/48	72	6	10	6+6	1,5×3	19,6	334	240		12	△/YY	2а
	6	26	51,4		4	10	8+8	1,25×2	12,9				18	Y	
АО2–92–8/6/4	8/4	32,7/48	65,9/66,5	72	6	10	4+4	1,6×4	23	334	330		12	△/YY	2а
	6	36,2	92,1		4	10	6+6	1,5×2	15,1				18	Y	
АО2–71–12/8/6/4	12/6	3,3/5,8	12,6/12,2	54	3	5	23+23	1,0	5,3	245	165		18	△/YY	3а
	8/4	5,8/8,6	14,5/17,9		4 и 5	7	16+16	1,18	6				12	△/YY	2а
АО2–72–12/8/6/4	12/6	4,2/8,5	15,5/17,5	54	3	5	17+17	1 18	6,2	245	705		18	△/YY	3а
	8/4	7,5/12	18,3/23		4 и 5	7	13+13	1,32	6,75				12	△/YY	2а

Данные многоскоростных электродвигателей серии АО2 напряжением 380 *в*.
(продолжение)

Тип	*2р*	*Р, кВт*	*I, A*	*z*	*q*	*y*	*N*	*d, мм*	*G*	*D*	*l*	*КГ*	*сх*	*Рис.*
АО2–81–12/8/6/4	12/6	5,6/12	18,6/23,8	72	4	7	13+13	1,5	9,85	285	190	18	△/YY	3а
	8/4	9/15	21,6/27,9		6	10	9+9	1,5	8,35			12	△/YY	2а
АО2–82–12/8/6/4	12/6	8/15	24,3/29,5	72	4	7	10+10	1,6	11	285	260	18	△/YY	3а
	8/4	13/20	29,9/38,2		6	10	7+7	1,25×2	10,5			12	△/YY	2а
АО2–91–12/8/6/4	12/6	13,2/22,6	35,8/43,5	72	4	7	8+8	1,4×2	14	334	240	18	△/YY	3а
	8,4	19,9/27,7	40,5/52,2		6	10	6+6	1,6×2	16,4			12	△/YY	2а
АО2–92–12/8/6/4	12/6	18,9/32,4	40/61,7	72	4	7	6+6	1,6×2	17,2	334	330	18	△/YY	3а
	8/4	26,6/39,1	55/72,9		6	10	5+2	1,4×3	17,9			12	△/YY	2а

Данные многоскоростных электродвигателей серии А, АО напряжением 380 *в*.

Тип	*2р*	*Р, кВт*	*I, A*	*z*	*q*	*y*	*N*	*d, мм*	*G*	*D*	*l*	*L*	*КГ*	*сх*	*Рис.*
АО–31–4/2	4/2	0,45/0,6	1,3/1,7	24	4	6	107+107	0,38	1,06	89	64	374	6	△/YY	1а
АО–32–4/2	4/2	0,75/1	2/2,4	24	4	6	80+80	0,75	1,27	89	100	446	6	△/YY	1а
АО–41–4/2	4/2	13/1,7	3,2/4	36	6	9	54+54	0,63	2,58	112	75	460	6	△/YY	1а
АО–42–4/2	4/2	2,1/2,8	4,8/6,3	36	6	9	37+37	0,8	3,18	112	115	540	6	△/YY	1а
АО–41–6/4	6	0,6	2	36	2	6	76	0,5	0,94	112	75	370	9	Y	
П. М.	4	1	2,8		3	9	54	0,63	1,3			440	6	Y	
АО–42–6/4	6	1	2,9	36	2	6	54	0,63	1,27	112	115	450	9	Y	
П. М.	4	1,7	4,3		3	9	35	0,8	1,56			520	6	Y	
АО–41–6/4	6	0,8	2,4	36	2	6	76	0,56	1,25	112	75	370	9	Y	
П. Р.	4	0,8	2,4		3	9	54	0,53	0,92			440	6	Y	
АО–42–6/4	6	13	3,6	36	2,	6	54	0,71	1,7	112	115	450	9	Y	
П. Р.	4	13	3,6		3	9	35	0,63	1			520	6	Y	
АО–41–8/4	8/4	0,3/0,5	1,11/1,21	36	3	5	125+125	0,38	1,9	112	75	370	12	△/YY	2а
АО–42–8/4	8/4	0,6/1	2,02/2,27	36	3	5	78+78	0,5	2,5	112	115	450	12	△/YY	2а
АО–41–6/4/2	6	0,6	2	36	2	6	76	0,5	0,94	112	75	370	9	Y	
	4/2	0,75/1	2,2/2,7		6	9	55+55	0,4	1,19			460	6	△/YY	1а
АО–42–6/4/2	6	1	3,1	36	2	6	54	0,63	0,85	112	115	450	9	Y	
	4/2	1,3/1,7	3,5/4,3		6	9	37+37	0,5	1,32			540	6	△/YY	1а
АО–51–4/2	4/2	3,2/4,2	7,1/9,1	36	6	9	33+33	1,06	6,14	152	90	600	6	△/YY	1а
АО–52–4/2	4/2	5,2/7	11/14,9	36	6	9	22+22	1,32	7,4	152	140	700	6	△/YY	1а
АО–51–6/4	6	1,7	4,7	36	2	6	48	0,85	2,26	152	90	470	9	Y	
П. М.	4	2,8	6,6		3	9	34	1,12	3,28			580	6	Y	
АО–52–6/4	6	2,8	7,5	36	2	6	32	1,06	2,85	152	140	570	9	Y	
П. М.	4	4,5	10,3		3	9	22	0,95	3,67			680	6	Y	
АО–51–6/4	6	2,1	5,5	36	2	6	48	1,0	3,03	152	90	470	9	Y	
П. Р.	4	2,1	5,4		3	9	34	0,95	2,28			580	6	Y	
АО–52–6/4	6	3,2	7,9	36	2	6	32	1,25	3,71	152	140	570	9	Y	
П. Р.	4	3,2	7,8		3	9	22	1,18	2,68			680	6	Y	
АО–51–8/4	8/4	1,1/1,7	3,42/3,76	36	3	5	69+69	0,75	4,66	152	90	460	12	△/YY	2а
АО–52–8/4	8/4	2/3	5,87/6,35	36	3	5	45+45	0,95	6,2	152	140	560	12	△/YY	2а
АО–51 – 6/4/2	6	1,7	4,9	36	2	6	48	0,85	2,1	152	90	470	9	Y	1а
	4/2	2,1/2,8	5,1/6,7		6	9	34+34	0,75	3			600	6	△/YY	
АО–52–6/4/2	6	2,8	7,7	36	2	6	31	1,06	2,77	152	140	570	9	Y	1а
	4/2	3,5/4,5	7,9/10,3		6	9	24+24	0,9	3,65			700	6	△/YY	

Данные многоскоростных электродвигателей серии А, АО напряжением 380 *в*.
(продолжение)

Тип	*2p*	*P, кВт*	*I, A*	*z*	*q*	*y*	*N*	*d, мм*	*G*	*D*	*l*	*L*	*КГ*	*сх*	*Рис.*
А–61–4/2	4/2	7,5/10	16,6/20,1	36	6	10	23+23	1,6	11,5	200	75	730	6	△/YY	1а
А–62–4/2	4/2	10,5/14	22,8/27,8	36	6	10	17+17	1,32×2	11,82	200	100	780	6	△/YY	1а
АО–61–4/2	4/2	7,5/10	15,9/19,9	36	6	9	19+19	1,8	11,2	200	100	730	6	△/YY	1а
АО–62–4/2	4/2	10,5/14	22/27,5	36	6	9	15+15	1,4×2	11,95	200	135	800	6	△/YY	1а
А–61–8/4	8/4	3,5/5	8/9,8	54	4 и 5	7	33+33	1,18	8,83	230	75	500	12	△/YY	2а
А–62–8/4	8/4	5/7	11,6/13,6	54	4 и 5	7	25+25	1,32	9,93	230	100	550	12	△/YY	2а
АО–62–8/4	8/4	3,5/5	8,1/9,8	54	5 и 4	7	27+27	1,32	10,3	230	100	550	12	△/YY	2а
АО–63–8/4	8/4	5/7	11,5/13,6	54	4 и 5	7	20+20	1,5	11,36	230	135	620	12	△/YY	2а
А–61–12/6	12/6	2/3,5	6,9/7,5	54	3	5	45+45	0,95	7,12	230	75	430	18	△/YY	3а
А–62–12/6	12/6	3/5	10/10,5	54	3	5	34+34	1,18	8,75	230	100	480	18	△/YY	3а
АО–61–12/6	12/6	2/3,5	6,5/7,5	54	3	5	39+39	1,06	8,5	230	100	480	18	△/YY	3а
АО–62–12/6	12/6	3/5	9;4/10,5	54	3	5	29+29	1,18	9,51	230	135	550	18	△/YY	3а
А–61–8/6/4	8/4	2,5/3,5	6,9/7,7	54	4 и 5	7	34+34	0,8	4,23	230	75	500	12	△/YY	2а
	6	3	6,7		3	7	16+16	1,12	4,24			520	18	Y	
А–62–8/6/4	8/4	3,5/5	9,2/10,6	54	4 и 5	7	25+25	0,95	4,7	230	100	550	12	△/YY	2а
	6	4,5	9,7		3	7	11+12	1,32	4,5			570	18	Y	
АО–62–8/6/4	8/4	2,5/3,5	6,8/7,7	54	4 и 5	7	30+30	0,8	4,1	230	100	550	12	△/YY	2
	6	3	6,8		3	7	15+15	1,18	4,84			570	18	Y	
АО–63–8/6/4	8/4	3,5/5	9/10,6	54	4 и 5	7	22+22	0,95	5,26	230	135	620	12	△/YY	2а
	6	4,5	9,8		3	7	11+11	1,4	5,36			640	18	Y	
А–61–12/8/6/4	12/6	1,3/2,5	5,2/5,8	54	3	4	50+50	0,67	3,5	230	75	400	18	△/YY	3а
	8/4	2/3	6,2/6,8		4 и 5	7	33+33	0,71	3,8			520	12	△/YY	2а
А–62–12/8/6/4	12/6	1,7/3,2	6,2/7,2	54	3	5	39+39	0,8	4,5	230	100	480	18	△/YY	3а
	8,4	2,4/4	7/8,8		4 и 5	7	27+27	0,8	3,88			570	12	△/YY	2а
АО–62–12/8/6/4	12/6	1,3/2,5	5/5,8	54	3	5	41+41	0,71	3,98	230	100	480	18	△/YY	3а
	8/4	2/3	6/7		4 и 5	7	28+28	0,71	3,22			570	12	△/YY	2а
АО–63–12/8/6/4	12/6	2/3,5	7,1/7,7	54	3	5	30+30	0,8	4,31	230	135	550	18	△/YY	3а
	8/4	3/4,5	8,4/10		4 и 5	7	21+21	0,85	3,88				12	△/YY	2а
А–71–8/4	8/4	7/10	16/19	54	4 и 5	7	22+22	1,12×2	13,7	260	100	620	12	△/YY	2а
А–72–8/4	8/4	10/14	22,5/27	54	4 и 5	7	16+16	1,32×2	14,9	260	135	690	12	△/YY	2а
АО–72–8/4	8/4	7/10	16,2/21,6	54	4 и 5	7	17+17	1,18+1,25	14	260	135	690	12	△/YY	2а
АО–73–8/4	8/4	10/14	22,4/26,3	54	4 и 5	7	13+13	1,4+1,5	17,6	260	185	790	12	△/YY	2а
А–71–12/6	12/6	4,5/7	14/14,4	54	3	5	31+31	1,4	13	260	100	540	18	△/YY	3а
А–72–12/6	12/6	6,5/10	19,5/20,3	54	3	5	23+23	1,6	14,2	260	135	610	18	△/YY	3а
АО–72–12/6	12,6	4,5/7	13,7/14,4	54	3	5	25+25	1,5	14	260	135	610	18	△/YY	3а
АО–73–12/6	12,6	6,5/ю	1 9/20,5	54	3	5	18+18	1,18+1,25	15,3	260	185	710	18	△/YY	3а
А–71–8/6/4	8/4	5/7	12,5/14,3	54	4 и 5	6	24+24	1,06	6,18	260	100	690	12	△/YY	2а
	6	6,5	13,8		3	7	10+11	1,6	6,5			630	18	Y	
А–72–8/6/4	8/4	7/10	16,5/20,4	54	4 и 5	6	17+17	1,32	7,9	260	135	680	12	△/YY	2а
	6	9	18,8		3	7	8+8	1,32×2	7,9			700	18	Y	
АО–72–8/6/4	8/4	5/7	12,2/14,3	54	4 и 5	7	20+20	1,12	7,14	260	135	680	12	△/YY	2а
	6	6,5	13,7		3	7	9+9	1,18×2	7,2			700	18	Y	
АО–73–8/6/4	8/4	7/10	16,2/20	54	4 и 5	7	15+15	1,25	7,5	260	185	780	12	△/YY	2а
	6	9	18,3		3	7	7+7	1,32+1,4	8,64			800	18	Y	
А–71–12/8/6/4	12/6	3/5	10,1/10,7	54	3	5	32+32	1,0	6,84	260	100	530	18	△/YY	3а
	8/4	4/6,5	11,1/13,8		4 и 5	7	22+22	1,0	5,52			630	12	△/YY	2а
А–72–12/8/6/4	12/6	4/7	13/14,6	54	3	5	24+24	1,18	7,74	260	135	600	18	△/YY	3а
	8/4	6/9	16/18,4		4 и 5	7	16+16	1,18	6,48			700	12	△/YY	2а
АО–72–12/8/6/4	12/6	3/5	10,5/10,5	54	3	5	26+26	1,06	7,04	260	135	600	18	△/YY	3а
	8/4	4/6,5	12/13,7		4 и 5	7	17+17	1,12	5,82			700	12	△/YY	2а

Данные многоскоростных электродвигателей серии А, АО напряжением 380 *в*.
(продолжение)

Тип	*2p*	*P, кВт*	*I, A*	*z*	*q*	*y*	*N*	*d, мм*	*G*	*D*	*l*	*L*	*КГ*	*сх*	*Рис.*
АО–73–12/8/6/4	12/6	4/7	13,7/14,2	54	3	5	20+20	1,25	9	260	185	700	18	△/YY	3а
	8/4	6/9	17/18,5		4и5	7	13+13	1,25	6,72			800	12	△/YY	2а
А–81–8/4	8/4	14/20	31,4/37,5	72	6	9	21+21	1,6	20,6	300	130	770	12	(△/YY)2	2б
А–82–8/4	8/4	20/28	43,7/52	72	6	9	16+16	1,32×2	25	300	180	870	12	(△/YY)2	2б
АО–82–8/4	8/4	14/20	30,5/37,2	72	6	9	9+8	1,7+1,8	24,4	300	180	870	12	△/YY	2а
АО–83–8/4	8/4	20/28	43/51,5	72	6	9	6+6	(1,4+1,5)×2	28,1	300	250	1010	12	△/YY	2а
А–81–12/6	12/6	9/14	27,4/28	72	4	6	15+15	1,32+1,4	19,5	300	130	660	18	△/YY	3а
А–82–12/6	12/6	12,5/20	36/39,7	72	4	6	11+11	1,5+1,6	22	300	180	760	18	△/YY	3а
АО–82–12/6	12/6	9/14	25,7/27,8	72	4	6	12+12	1,4×2	19,8	300	250	760	18	△/YY	3а
АО–83–12/6	12/6	12,5/20	35,2/39,2	72	4	6	9+9	1,32×3	23	300	250	900	18	△ /YY	3а
А–81–8/6/4	8/4	10/14	23,3/28	72	6	9	12+12	1,5	9,9	300	130	740	12	△/YY	2а
	6	12,5	26		4	10	5+5	1,7×2	12,8			830	18	Y	
А–82–8/6/4	8/4	14/20	32/39,8	72	6	9	9+9	1,7	11,3	300	180	840	12	△/YY	2а
	6	18	37,2		4	10	12+12	1,5	13,3			930	18	Y	
АО–82–8/6/4	8/4	10/14	22,6/28	72	6	9	9+9	1,6	10,9	300	180	840	12	△/YY	2а
	6	12,5	24,8		4	10	14+14	1,32	13			930	18	Y	
АО–83–8/6/4	8/4	14/20	31,3/39	72	6	9	7+7	1,4+1,5	13,8	300	250	980	12	△ /YY	2а
	6	18	35,4		4	10	10+10	1,6	14,2			1070	18	Y	
А–81–12/8/6/4	12/6	6/10	18,6/20	72	4	6	16+16	1,4	10, 6	300	190	630	18	△ /YY	3а
	8/4	8,5/12,5	21,4/25		6	9	11+11	1,4	9,1			800	12	△/YY	2а
А–82–12/8/6/4	12/6	8/14	23,8/27,5	72	4	6	12+12	1,6	12,2	300	180	730	18	△/YY	3а
	8/4	11/18	27,2/35,6		6	9	8+9	1,6	9,9			900	12	△/YY	2а
АО–82–12/8/6/4	12/6	6/10	19,7/20	72	4	6	13+13	1,5	11,7	300	180	730	18	△/YY	3а
	8/4	8,5/12,5	23,5/25,5		6	9	9+9	1,5	9,35			900	12	△/YY	2а
АО–83–12/8/6/4	12/6	8,5/14	27,2/27,5	72	4	6	10+10	1,7	13,4	300	250	870	18	△/YY	3а
	8/4	11/18	30/36,5		6	9	7+7	1,7	11,2			1040	12	△/YY	2а
А–91–8/4	8/4	28/40	60,5/74	72	6	9	14+15	1,5+1,6	34,4	350	160	920	12	(△/YY)2	2б
А–92–8/4	8/4	40/55	85,3/101	72	6	9	10+11	1,5×3	39,3	350	220	1040	12	(△/YY)2	2б
АО–93–8/4	8/4	28/40	60/73	72	6	9	10+10	1,5×3	40,6	350	250	1100	12	(△/YY)2	2б
АО–94–8/4	8/4	40/55	85,5/99	72	6	9	8+8	1,5×4	49	350	320	1240	12	(A/YY)2	2б
А–91–12/6	12/6	18/28	50/55	72	4	6	30+30	1.6	29,2	350	160	760	18	△/YY)3	3б
А–92–12/6	12/6	25/40	70/77,6	72	4	6	22+22	1,25×2	32,4	350	220	880	18	(△/YY)3	3б
АО–93–12/6	12/6	18/28	50/54,3	72	4	6	22+22	1,18+1,25	33	350	250	940	18	(△/YY)3	3б
АО–94–12/6	12/6	25/40	69/77	72	4	6	17+17	1,4+1,5	42,5	350	320	1080	18	(△/YY)3	3б
А–91–8/6/4	8/4	20/28	44/55,4	72	6	9	8+8	1,5×2	16,1	350	160	860	12	△/YY	2а
	6	25	51,5		4	10	11+11	1,25×2	17,7			960	18	(Y)3	
А–92–8/6/4	8/4	28/40	63,4/78,6	72	6	9	6+6	1,4×3	18,6	350	220	980	12	△/YY	2а
	6	36	73,5		4	10	8+8	1,5×2	20,7			1080	18	(Y)3	
АО–93–8/6/4	8/4	20/28	45/54,5	72	6	9	5+6	(1,18+1,25)×2	18,9	350	250	1040	12	△/YY	2а
	6	25	49		4		7+7	1,18×3	19,4			1140	18	(Y)3	
АО–94–8/6/4	8/4	28/40	623/77,5	72	6	9	4+5	1,6×3	22,9	350	320	1180	12	△/YY	2а
	6	36	70		4	10	5+5	1,6×3	26			1280	18	(Y)3	
А–91–12/8/6/4	12/6	12/20	35/39	72	4	6	11+11	1,06×3	15,4	350	160	740	18	△/YY	3а
	8/4	17/25	41,2/49,1		6	9	8+8	1,32+1,4	14,4			920	12	△/YY	2а
А–92–12/8/6/4	12/6	17/28	49,1/54,7	72	4	6	8+8	1,25×3	17,5	350	220	860	18	△/YY	3а
	8/4	24/36	57,7/70,5		6	9	6+6	1,32×3	17			1040	12	△/YY	2а
АО–93–12/8/6/4	12/6	12/20	38,5/39	72	4	6	8+8	1,5×2	18,3	350	250	920	18	△/YY	3а
	8/4	17/25	45,8/50,5		6	9	5+6	1,6	17,3			1100	12	△/YY	2а
АО–94–12/8/6/4	12/6	17/28	54/55	72	4	6	6+6	1,5×3	22,3	350	320	1060	18	△/YY	3а
	8/4	24/36	64/72		6	9	4+5	1,5×3	19,3			1240	12	△/YY	2а

Электродвигатели серии А (АО) – первая единая Всесоюзная серия асинхронных электродвигателей с мощностями на 15 ступеней выпускалась на заводах с 1950 года, заменившая 8 разрозненных серий и типов с различными мощностями И–И2 (ИЗО), МКА (МКБ), АД, Т (ТМ), ТНГ (ТАГ), МА, К (КО), Р (Урал). Вторая серия А2 (АО2) с мощностями на 19 ступеней заменила единую серию электродвигателей в 1958 году. Обозначение и маркировка серий А (АО) и А2(АО2)–72–4/2 одинаковы и означают: А, А2 – асинхронный открытый (защищенный); АО, АО2 – асинхронный закрытый обдуваемый; 7 – седьмой габарит; 2 – вторая длина сердечника; 4/2 – число полюсов.

Данные многоскоростных электродвигателей серии Т с ППО Z = 36 напряжением 380 *в*.

Тип	*2p*	*P, кВт*	*I, A*	*q*	*y*	*N*	*d*	*G*	*D*	*L*	*КГ*	*сх.*	*Рис.*
41–4/2	4/2	1,7/2,2	4,2/5,5	6	10	52+52	0,75	4,2	112	78	6	△/YY	1a
42–4/2	4/2	2,6/3	6,2/7,1	6	10	36+36	0,9	4,8	112	118	6	△/YY	1a
51–4/2	4/2	4,5/5	10,3/12,4	6	11	33+33	1,32	8,5	152	94	6	△/YY	1a
52–4/2	4/2	6,5/7,5	13,7/17,3	6	11	22+22	1,6	10	152	144	6	△/YY	1a
41–8/4	8/4	0,65/1	2,4/2,5	3	5	99+99	0,5	3,1	112	78	12	△/YY	2a
42–8/4	8/4	0,8/1,5	3,2/3,7	3	5	71+71	0,6	3,1	112	118	12	△/YY	2a
51–8/4	8/4	2/3	5,8/6,8	3	5	60+60	0,95	6 1	152	94	12	△/YY	2a
52–8/4	8/4	3/4,5	8,7/9,5	3	5	38+38	1,18	8,2	152	144	12	△/YY	2a
51–12/6	12/6	1/2	3,8/5	2	3	93+93	0,8	5,6	152	94	18	△/YY	3a
52–12/6	12/6	1,6/3,2	6,1/7,4	2	3	60+60	1,0	7	152	144	18	△/YY	3a
41–6/2	6/2	1,3/1,7	3,9/4,3	2,4	7	70+70	0,67	3,6	112	78	14	△/△	9
42–6/2	6/2	1,7/2,3	5,2	2,4	7	45+45	0,8	3,9	112	118	14	△/△	9
51–6/2	6/2	3,3/3,8	8,3/9,1	2,4	7	43+43	1,12	6 9	152	94	14	△/△	9
52–6/2	6/2	5,5/6,5	10,7/11,5	2,4	7	28+28	1,4	8,9	152	144	14	△/△	9
42–8/6	8/6	0,8/1,5	3,3/5,1	4,2	5	142+142	0,41	3,9	112	118	15	△△/△△△	12
52–12/6/4/2	12/6	1,2/2,4	5,4/6,3	2	3	60+60	0,85	9,47	152	144	18	△/YY	21
	4/2	3,2/3,5	7,6/9,7	6	9	24+24					9		
41–6/4	6/4	1,3/1,4	3,8/3,6	2	6	128	0,67	3,9	112	78	9	△/△	10
42–6/4	6/4	1,9/2,1	5,5/5,1	2	6	82	0,85	3,9	112	118	9	△/△	10
51–6/4	6/4	3,5/3,5	8,3/7,9	2	6	78	1,18	6,6	1 57	94	9	△/△	10
52–6/4	6/4	4,5/5	11,2/11,2	2	6	50	1,5	8,6	152	144	9	△/△	10
41–8/2	8/2	0,5/1,5	2,2/4	3	4, 6, 8 и	63+63	0,75	4,2	112	78	12	Y/YY	11
42–8/2	8/2	0,8/4	3,3/5,3	3	10, 11, 12	44+44	0,8	4,2	112	118	12	Y/YY	11
51–8/2	8/2	1,5/4	5,2/9,2	3	4, 6, 8 и	38+38	1,18	9,6	152	94	17	Y/YY	11
52–8/2	8/2	2,7/6	8,8/12,3	3	10, 11, 12	25+25	1,5	10	152	144	12	Y/YY	11
52–10/2	10	1,6	6,3	1	3	33	1,0×7		152	144	18	Y/Y	13
	2	4,5	11,5	11,5	11	11+11	1,0×2				12		
51–16/4	16	0,55	3,8	1	2 и 3	87 и 37	1,0	6,3	152	94	18	Y/YY	14
	4	3,5	8,1	2	7	55+55	1,0	6,3			12		
52–16/4	16	0,85	5	1	2 и 3	64 и 28	1,25	8,5	152	144	18	Y/YY	14
	4	5	12	2	7	36+36	1,25	8,5			12		
52–10/6/4	10	1,6	6,3	1	5	59	1,0		152	144	18	△/△/YY	18
	6/4	3/4,5	8,8/10,5	2 и 1	10	47	1,0				12		
52–12/8/4	12/8/4	1,2/3/4,5	6,5/9,5/10,3	2	4	39+39	1,25	7	152	144	18	Y/△/△	19
51–12/2	12	1	3,8	1	3	88	0,95	3,7	152	94	18	Y	
	2	3	6,9	6	11	17+17	1,06	3,4			6	Y	
52–12/2	12	1,4	5	1	3	64	1,18	5,4	152	144	18	Y	
	2	4,5	10	6	11	12+12	1,18	3,6			6	Y	
51–16/2	16	0,5	2,1	1	2 и 3	112 и 56	0,9	43	152	94	24	Y	
	2	3	6,9	6	11	17+17	1,06	3,4			6	Y	
52–16/2	16	0,75	5,1	1	2 и 3	4 и 37	1,06	5,3	152	144	24	Y	
	2	4	10	6	11	12+12	1,25	3,6			6	Y	
41–6/4/2	6	1	3	2	11	27	0,47	3,5	122	118	3	YYY/△△/△Y	15
	4/2	1,2/1,3	3/3,4	4	5	133+133	0,47				9		
42–6/4/2	6	1,3	3,9	2	11	12	0,5	4	112	94	3	YYY/△△/△Y	15
	4/2	1,6/1,8	4/4,5	4	5	88+88	0,5				9		

Данные многоскоростных электродвигателей серии Т с ППО Z = 36 напряжением 380 *в*. (продолжение)

Тип	*2р*	*Р, кВт*	*I, A*	*q*	*y*	*N*	*d*	*G*	*D*	*L*	*КГ*	*сх.*	*Рис.*
51–6/4/2	6	3,1	7,8	2	11	16	0,8	5,9	152	94	3	YYY/△△/△Y	15
	4/2	3,2/3,5	7/8	4	5	79+79	0,8				9		
52–6/4/2	6	4,5	12,3	2	11	10	1,06	7,1	152	144	3	YYY/△△/△Y	15
	4/2	5/5,3	10,9/12,1	4	5	52+52	1,06	7,1			9		
41–8/4/2	8/4/2	0,5/1,4/1,5	2,2/3,3/3,2	3	4, 6, 8 и	125+125	0,5	4,6	112	78	12	YY/△△/△△	16
42–8/4/2	8/4/2	0,8/1,2/2	3,3/4,1/4,7	3	10, 11, 14	88+88	0,56	5,9	112	12	12	YY/△△/△△	16
51–8/4/2	8/4/2	1,5/3,5/4	5,5/7,9/9,2	3	4, 6, 8 и	76+76	0,85	7,9	152	94	12	YY/△△/△△	16
52–8/4/2	8/4/2	2,7/5,5/6	8,8/11,2/12	3	10, 11, 14	50+50	1,06	9,6	152	144	12	YY/△△/△△	16
41–8/6/4	8/6/4	0,6/0,7/1,1	2,7/1,9/2,7	2 и 4	5	105+105	0,56	4	112	78	12	△/△/YY	17
42–8/6/4	8/6/4	0,8/1/1,4	3,3/2,7/3,4	2 и 4	5	75+75	0,6	5,4	112	118	12	△/△/YY	17
51–8/6/4	8/6/4	1,7/1,9/2,5	5,9/4,8/5,5	2 и 4	5	65+65	0,9	8,8	152	94	12	△/△/YY	17
52–8/6/4	8/6/4	2,7/3,2/4	8,7/8,1/8,7	2 и 4	5	43+43	1,18	9,1	152	144	12	△/△/YY	17
41–8/6/4/2	8/6/4/2	0,6/0,7/1,1/1,3	2,7/1,9/2,7/3,3	2 и 4	5	105+105	0,56	4	112	78	12	△△/YY/YY	20
42–8/6/4/2	8/6/4/2	0,8/1/1,4/1,5	3,3/2,7/9,4/3,8	2 и 4	5	75+75	0,6	3,4	112	118	12	△△/YY/YY	20
51–8/6/4/2	8/6/4/2	1,7/1,9/2,5/3	5,9/4,3/5,5/7,2	2 и 4	3	65+65	0,9	5,7	152	94	12	△△/YY/YY	20
52–8/6/4/2	8/6/4/2	2,7/3,2/4/43	8,8/8,1/8,7/10	2 и 4	5	43+43	1,18	5,7	152	144	12	△△/YY/YY	20
51–12/8/6/4	12/8/6/4	0,8/1,7/2/2,5	3,6/5/5,6/5,8	2	4	45+45	0,75	6,5	152	94	18	△/△/△/△	22
				2	4	59+59					18		
52–12/8/6/4	12/8/6/4	1,2/2,5/3/4	5,4/8,2/8,4/8,9	2	4	30+30	0,95	95	152	144	18	△/△/△/△	22
				2	4	37+37					18		

Данные преобразователей с 220/380 *в*, 50 *гц* на напряжение 36 *в*, 200 *гц*.

Тип	*Наименование*	*Р, кВт*	*2р*	*U*	*f*	*I, A*	*q*	*y*	*N*	*d*	*КГ*	*D*	*l*	*Z*	*сх*
ИЭ940 1У2 мотор–генератор (на одном валу)	статор мотора	5,8	2	220/380	50	7,3/10	6	11	24+24	1,32	6	130	60	36	△/Y
	статор генер.	4	6	36	200	67	3	7	1+1	1,4×6	18	155	60	54	Y
	ротор мотора			220/380	50		1	3	88+88	0,85	18				△/Y
С–759 (преобразоват.)	обмотка мотора	1	2	220/380	50	4,7/2,7	6	11	30+30	0,85	6	140	45	36	△/Y
	обмотка генер.	0,8	8	36	200	9,6	1 и 2	4	5+5	1,12×2	24			36	Y
ИЭ–403 У2 (преобразоват.)	обмотка мотора	2	2	220/380	50	7,9/5,6	6	11	19+19	1,06	6	185	53	36	△/Y
	обмотка генер.	1,2	8	36	200		1 и 2	4	3+3	1,32×2	24			36	Y
ИЭ–9406 У2 (преобразоват.)	обмотка мотора (большие пазы)	6	2	220/380	50	17,2/10	2+2	11	45	1,06	6	180	53	24	△/Y
	обмотка генер. (все пазы)	1,5	8	36	200	24	1+1	5	5	1,32×4	24			48	Y

Данные лифтовых электродвигателей серии АС, АС2, 4АН, 380 *в*, Y, обмотки самостоятельные.

Тип	*2p*	*P, кВт*	*I, А*	*Z*	*q*	*y*	*a*	*N*	*d*	*G*	*D*	*l*	*L*	*КГ*
АН–6/18	6	3,5	9,25	54	3	9		19	1,32×2	4,5	206	123		9
	18	1,18	7,3		1	3		43	1	4,5				27
4АН–160–6/18	6	3,5	10,4	54	3	7		10+10	1,25	3,7	185	140	584	18
	18	1,16	14		1	3	3	114	0,75	3,4			506	27
АС–61–6/18	6	3,5	9,2	54	3	7		13+13	1,32	4,1	230	75	490	18
	18	1,16	7,9		1	3		60	1,0	3,8			360	27
АС–62–6/18	6	3,5	9,2	54	3	7		11+11	1,4	4,5	230	100	530	18
	18	1,16	7,9		1	3		58	1,0	4,5			400	27
АС–71–6/18	6	3,5		54	3			10+10	1,18×2	4,9	245	130		18
	18	1,18			1	3		46	1,18	5,1				27
АС–72–6/18	6	3,5		54	3	7		7+7	1,18×2	2,9	245	170		18
	18	1,17			1	3		41	1,18	2,2				27
АС–81–6/24	6	5	10,6	72	4	10	2	13+13	1,18×2	7,5	300	130		18
	24	1,25	6		1	3		44	1,12	8				27
АС–82–6–4/24	6	7	25,7	72	2+2	10		9×3	1,32	8,2	300	180		9
	24	1,75	14,6		1	3		32	1,32	8,3				36
АС–91–6/24	6	6	15,1	72	4	10	3	19+19	1,12×2	22,7	325	130		18
	24	1,75	10		1	3		25	1,12	13				36
АС–91–6/24	6	14	30	72	4	9	3	11+12	1,5	12	350	160		18
	24	3,5	19		1	3		24	1,9	19				36
АС–92–6/24	6	20	20	72	4	9		3+3	1,5×4	15	350	220		18
	24	5	5		1	3		18	13+1,6	17,8				36
4АН200–6/24	6	7	15,3	72	4	10	3	22+22	1,4	22,7	238	230		18
	24	1,75	14,7		1	3		15	1.4					36

III. Переделка трехфазных электродвигателей на однофазные с заменой обмотки.

Предисловие

Однофазные электродвигатели применяют в местах, где отсутствуют или не предусмотрены трехфазные электрические сети. Обычно – в быту и особенно на приусадебных участках (дачах), а также в лабораториях, мелких мастерских, на полевых станах и т. п. Нашей промышленностью выпускаются однофазные электродвигатели мощностью до 1 кВт, тогда как есть потребность в более мощных. Приобрести же их зачастую невозможно из–за большого спроса. Дефицит однофазных электродвигателей можно компенсировать за счет переделки из трехфазных, у которых обмотка пришла в негодность. Таких электродвигателей в хозяйствах страны имеется в достаточном количестве. В данном пособии приводится простой и достаточно надежный метод пересчета обмотки с трехфазных на однофазные, составлены схемы однослойных и двухслойных обмоток. Помещены готовые обмоточные данные пересчитанные на однофазные с трехфазных электродвигателей серии А, АО, АО2 и 4А, имеются данные заводских электродвигателей типа АОЛБ, АОЛГ, АОЛД, АЕВ. Пособие предназначено для практиков–обмотчиков и электриков.

1. Принцип работы однофазного электродвигателя.

В однофазном электродвигателе статор имеет одну основную обмотку. Подключив обмотку к однофазной электросети, по ней потечет электрический ток, который создает переменное магнитное поле. Так как магнитное поле меняет направление, то оно получается пульсирующим, равносильно наличию двух магнитных полей с половинными амплитудами: одно прямое, другое обратное. Они равны по величине, но вращаются в противоположные стороны. Пульсирующее магнитное поле статора, пересекая обмотку ротора, наводит в ней электродвижущую силу (ЭДС), но так как обмотка замкнута, то по ней потечет ток, создавая самостоятельный магнитный поток. По закону Ленца направление индуцированной ЭДС таково, что вызванный ею ток и магнитный поток стремятся препятствовать причине, создающей эту индуцированную ЭДС. Значит, магнитный поток, возникающий в обмотке неподвижного ротора, будет направлен в противоположную сторону магнитному потоку статора.
В результате взаимодействия пульсирующего поля статора, возникающие электромагнитные силы будут равны между собой и направлены в противоположные стороны, поэтому ротор во вращение прийти не может. Если на статоре расположить вместо одной обмотки две, сдвинутые на 90 электрических градусов, то от возникающих в них магнитных потоков особых изменений не произойдет. Из двух потоков создается результирующий магнитный поток, и разница будет только в величине и отклонении его направления оси, при этом ротор тоже не будет иметь начального вращающегося момента. Если раскрутить ротор посторонней силой в любую сторону, то он станет вращаться самостоятельно, достигнет полных оборотов и будет нести нагрузку. Подобным образом ведет себя трехфазный электродвигатель с нагрузкой 50 процентов при обрыве во время работы одной из фаз. Вращение ротора в ту или другую сторону связано с наличием в статоре пульсирующего поля, условно состоящего из прямого и обратного полей, которые (при раскрутке ротора; меняют свое название, форму и величину. При вращающемся роторе обмотка его пересекается магнитными силовыми линиями от обратного поля статора с частотой вращения, которая складывается из синхронной частоты вращения обратного поля статора и частоты вращения ротора (почти двойная частота вращения), в результате чего в обмотке ротора наводится двойная частота тока, равная порядка 97–98 герц, при этом возрастает индуктивное сопротивление и преобладающим будет реактивный ток, ослабляющий обратное магнитное поле. Поэтому тормозящий момент становится незначительным.

Частота же пересечения обмотки ротора магнитными силовыми линиями от прямого поля статора будет незначительная, равная скольжению ротора, порядка 5 процентов от синхронной частоты вращения прямого поля статора (разность между синхронной частотой вращения прямого поля статора и частотой вращения ротора) и составит 2–3 герца.
При такой малой частоте индуктивное сопротивление будет незначительным и преобладающим станет активное сопротивление, поэтому в обмотке ротора протекает активный ток, создающий положительное результирующее поле. Прямое поле (при уменьшенном обратном поле) становится вместо пульсирующего вращающимся магнитным полем, близким к круговому. В результате взаимодействия вращающегося магнитного поля статора и проводниками с током ротора возникает момент вращения ротора.
Чтобы иметь начальный момент вращения (пусковой) в однофазном электродвигателе, как и при вращающемся роторе, надо при пуске создать в статоре вместо пульсирующего поля круговое или хотя бы эллиптическое. Для этого надо не только расположить на статоре две обмотки, сдвинутые в пространстве на 90 электрических градусов, но и добиться в них сдвига токов на угол, близкий к 90 градусам и равенства магнитных потоков. В этом случае две обмотки должны создавать две синусоиды, сдвинутые на 90 градусов, тогда электродвигатель при пуске будет работать как двухфазный.
Сдвиг токов на угол до 90 градусов (¼ периода) в обмотках достигается включением во время пуска в пусковую обмотку последовательно активного или индуктивного сопротивления. При включении в обмотку фазосмещающих элементов, специально изготовленных для этой цели, искусственно создается питание двух обмоток статора двухфазным переменным током. Но сдвиг между токами в обмотках в зависимости от фазосмещающих элементов и величины нагрузки электродвигателя может и не достигнуть требуемой величины, к тому же эти элементы очень громоздки и создают дополнительные затраты. Кроме того, при запуске электродвигателя с повышенным сопротивлением возникает большая кратность пускового тока при небольшой кратности пускового момента.
Чтобы получить в однофазном электродвигателе наибольший магнитный поток и лучшую его форму кривой, принимают выгодный и экономический вариант, при котором изготовляют рабочую обмотку (основную), занимающую ⅔ числа пазов, и пусковую (вспомогательную) занимающую ⅓ числа пазов статора. Для создания в обмотках разного сопротивления пусковую обмотку лучше выполнять проводом, сечение которого в два раза меньше, чем в рабочей обмотке, что способствует в ней сдвигу (отставанию) тока на определенный угол от тока рабочей обмотки.
Пусковая обмотка с высокой плотностью тока предназначена только для пуска, который обычно продолжается 2–3 секунды. При перемотке трехфазного электродвигателя на однофазный, мощность его составляет 50–60 процентов от мощности трехфазного электродвигателя. Снижение мощности однофазного электродвигателя происходит из–за наличия в роторе двух магнитных полей с разной частотой, что приводит к потерям в железе и меди (обмотке) статора в два раза большим, чем в трехфазном электродвигателе. Большие потери в роторе способствуют возрастанию скольжения, а это вызывает увеличение тормозящего момента, поэтому однофазные электродвигатели работают менее устойчиво, с малыми коэффициентами мощности и полезного действия. Даже при наличии двух обмоток с разным активным сопротивлением, занимающих наивыгоднейшее соотношение пазов в статоре, добиться полного уменьшения обратного магнитного поля, а значит и смещения между токами в рабочей и пусковой обмотках до 90 градусов невозможно, поэтому вращающее магнитное поле будет иметь только эллиптическую форму, значит запуск будет затруднен. Для улучшения запуска принимаются различные методы, о которых указано ниже в разделе запуск и работа однофазных электродвигателей.

2. Переделка трехфазных электродвигателей на однофазные определение основных параметров и составление схем обмоток.

2. 1. Обмотки, занимающие число пазов: для рабочей ⅔ и для пусковой ⅓ фазу (с полным числом секций в катушечных группах).

В однофазном электродвигателе число пазов на полюс и фазу (число секций в катушечной группе) зависит от числа пазов (зубцов), занимаемых в статоре пусковой и рабочей обмотками. Пусковая обмотка занимает ⅓ числа пазов статора значит, фазная зона будет равна 60 электрическим градусам, поэтому число пазов на полюс и фазу (q) в пусковой обмотке совпадает с трехфазным электродвигателем и равно третьей части пазов статора, поделенных на число полюсов ($2p$):

$$q\text{п} = \frac{Z}{2p} \times ⅓ = \frac{Z}{6p} \quad (1)$$

Рабочая обмотка занимает ⅔ число пазов статора, значит фазная зона будет составлять 120 электрических градусов, при этом число пазов на полюс и фазу равно две третьей числа пазов статора, поделенных на число полюсов:

$$q\text{п} = \frac{Z}{2p} \times ⅔ = \frac{Z}{3p} \quad (1а)$$

Из формул видно, что число секций в катушечной группе рабочей обмотки при таком соотношении пазов, всегда в два раза больше, чем в катушечной группе пусковой обмотки. В однофазных электродвигателях применяются однослойная и двухслойная обмотки. Двухслойная обмотка выполняется только с полным числом пазов на полюс и фазу (с полным числом секций в катушечных группах).
В двухслойной обмотке количество катушечных групп в рабочей (КГр) и пусковой (КГп) обмотках одинаково и равно числу полюсов – КГр = КГп = $2p$.
Для улучшения запуска и более устойчивой работы электродвигателя двухслойная обмотка выполняется с одинаковым укороченным шагом для обеих обмоток ⅔ полюсного деления (соответствует числу пазов на полюс и фазу рабочей обмотки).

$$y\text{р} = y\text{п} = \frac{Z}{2p} \times ⅔ = \frac{Z}{3p} \quad (2)$$

Укладка катушечных групп производится поочередно – рабочая, потом пусковая, чередуясь все время в таком порядке через одну – 1р, 2п, 3р, 4п, 5р, 6п, 7р, 8п. Количество КГ зависит от числа полюсов электродвигателя. Соединение разрезных катушечных групп отдельно в рабочей и пусковой обмотках производится конец с концом, потом начало с началом, чередуясь все время, подобно соединению в фазах обмотки трехфазного электродвигателя. Для правильности соединения схемы над катушечными группами необходимо нанести стрелки в рабочей и пусковой обмотках с чередованием направления через одну (см. рис. 1 и 2).
При выполнении обмоток целыми, без паек, первые катушечные группы от обеих обмоток укладываются нормально, а следующие переворачиваются на 180 градусов, повторяя через одну. На рис. 1*а*, *б* приведены однофазные двухслойные обмотки на $2p$ = 2 при Z = 18, 24, а на рис. 2*а*, б на $2p$ = 4 при Z = 24, 36, ниже приводятся параметры для выполнения часто встречающихся электродвигателей с двухслойными обмотками в зависимости от числа пазов статора и числа полюсов с укорочением шага β = ⅔ = 0,67, что соответствует обмоточному коэффициенту укорочения Kу = 0,87.

Параметры для $2p = 2$ с числом катушечных групп КГр = КГп = 2

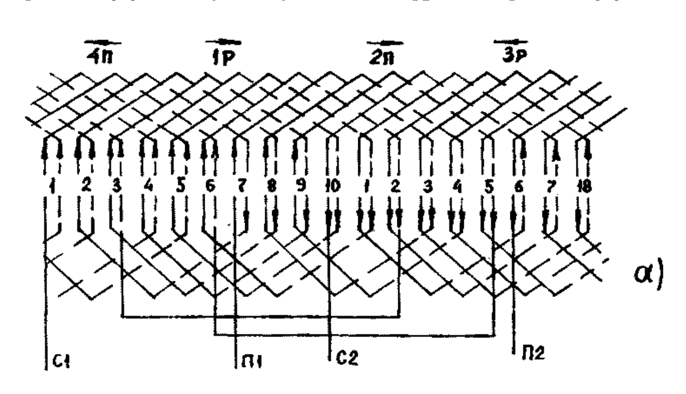
$Z = 12$, qр = 4, qп = 2, yу = 4 (1 – 5), $Z = 18$, qр = 6, qп = 3, yу = 6 (1 – 7),

$Z = 24$, qр = 8, qп = 4, yу = 8 (1 – 9)

Параметры для $2p = 4$ с числом катушечных групп КГр = КГп = 4

$Z = 12$, qр = 2, qп = 1, yу = 2 (1 – 3), $Z = 18$, qр = 3, qп = 2 и 1, yу = 3 (1 – 4)

$Z = 24$, qр = 4, qп = 2, yу = 4 (1 – 5), $Z = 36$, qр = 6, qп = 3, yу = 6 (1 – 7)



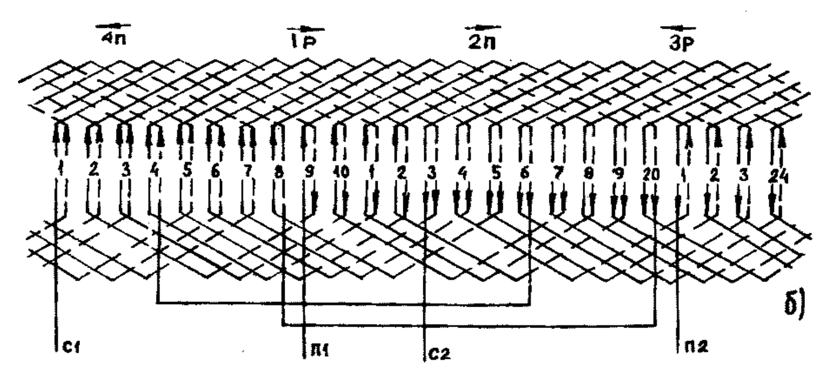
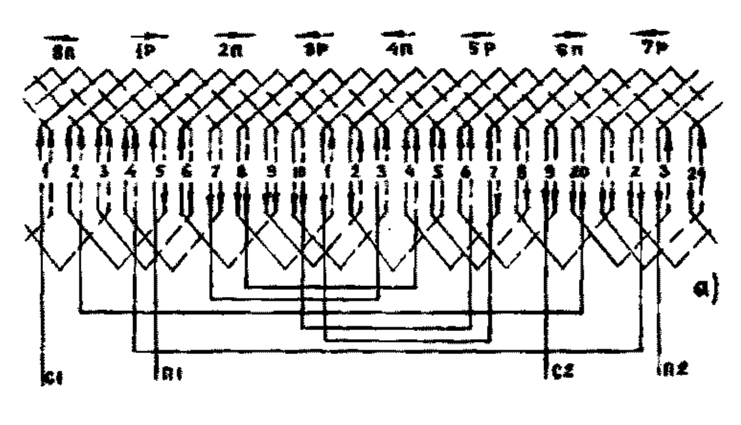


Рис. 1. Схемы двухслойной равносекционной обмотки $\beta = 2/3 = 0{,}67$, $2p = 2$, КГр = КГп = 2.
а) $Z = 18$, qр = 6, qп = 3, yр = yп = 6 (1 – 7), б) $Z = 24$, qр = 8, qп = 4, yр = yп = 8 (1 – 9).



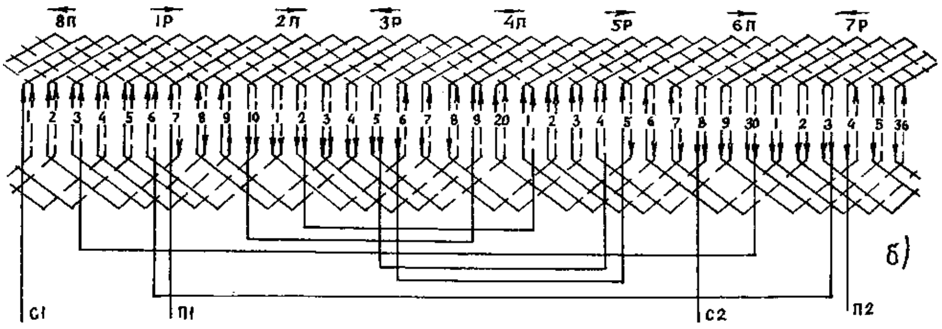


Рис. 2. Схемы двухслойной равносекционной обмотки $\beta = 2/3 = 0{,}67$, $2p = 4$, КГр = КГп = 4.
а) $Z = 24$, qр = 4, qп = 2, yр = yп = 4 (1 – 5). б) $z = 36$, qр = 6, qп = 3, yр = yп = 6 (1 – 7).

В однофазных однослойных обмотках (отдельно для рабочей и пусковой) количество катушечных групп равно числу пар полюсов КГр = КГп = p поэтому уложить их в статор с полным числом секций (полным числом пазов на полюс и фазу) при $2p = 2$, невозможно, а при $2p = 4$ для некоторых затруднено. Учитывая это, катушечные группы выполняют "в развалку" или делят на части. Однослойные обмотки выполняются равносекционными или концентрическими, которые приведены на рис. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

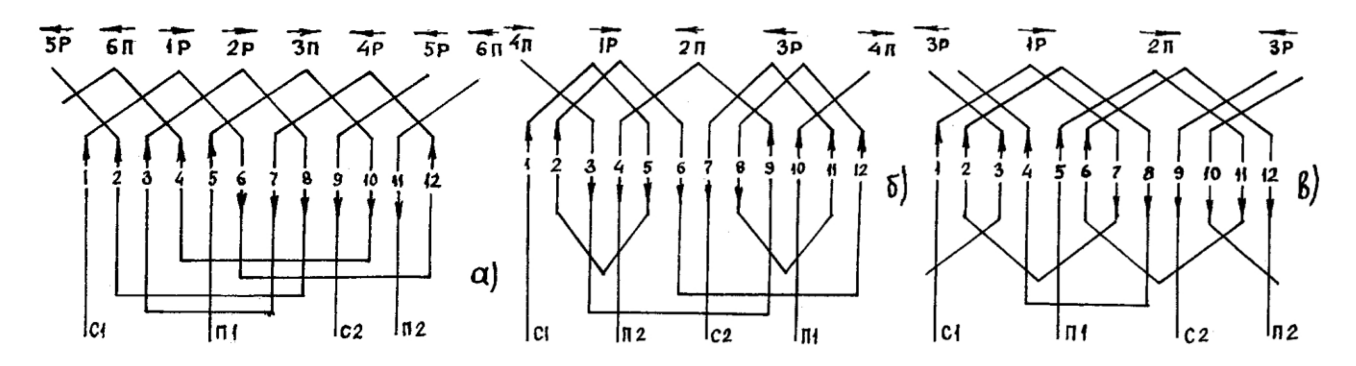


Рис .3. Схемы однослойной обмотки $2p = 2$, $Z = 12$.
а) рабочая обмотка, расчлененная qр = 4 = 1 + 1 + 1 + 1, пусковая обмотка в развалку qп = 2 = 1 + 1, yр = yп = 5 (1 – 6).
б) обе обмотки выполнены в развалку qр = 4 = 2 + 2, yр = 4 (1 – 5), qп = 2= 1 + 1, yп = 5 (1 – 6).
в) рабочая обмотка в развалку qр = 4 = 2 + 2, пусковая обмотка с полными КГ, qп = 2, yр = yп = 6 (1 – 7), (равносекционная).

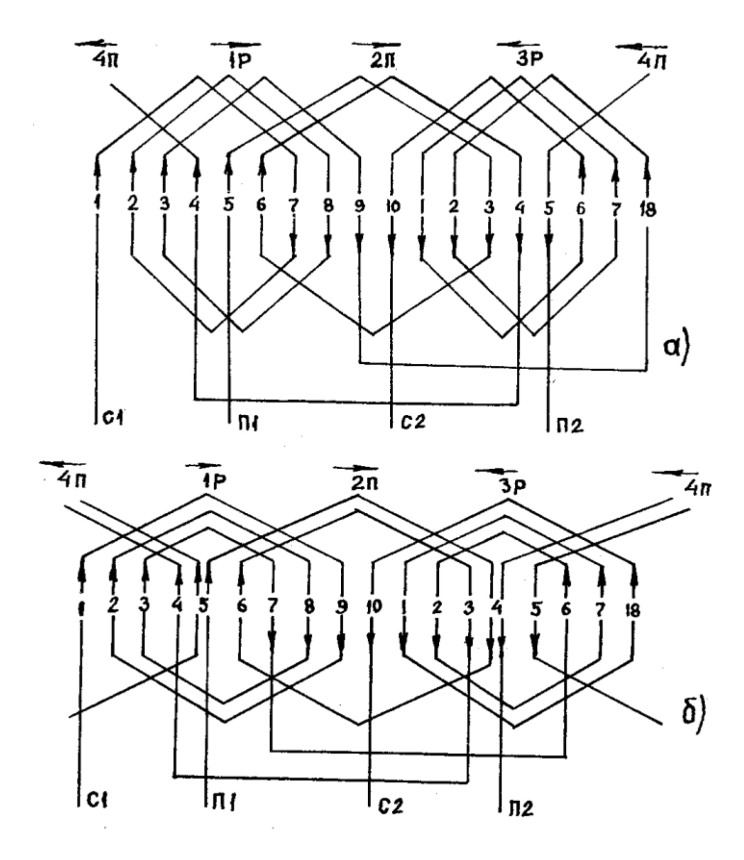


Рис. 4. Схема однослойной обмотки $2p = 2$, $Z = 18$, обе обмотки в развалку КГр = КГп = 2
а) равносекционная qр = 6 = 3 + 3, yр = 6 (1 – 7), qп = 3 = 2 + 1, yп = 8 (1 – 9) и 7 (1 – 8)
б) концентрическая qр = 6 = 3 + 3, yр = 8 (1 – 9), 6 (2 – 8), 4 (3 – 7). Пусковая обмотка с расчесанной секцией qп = 3 = 1,5 + 1,5, yп = 9 (1 – 10), 7 (2 – 9), (комбинированная).

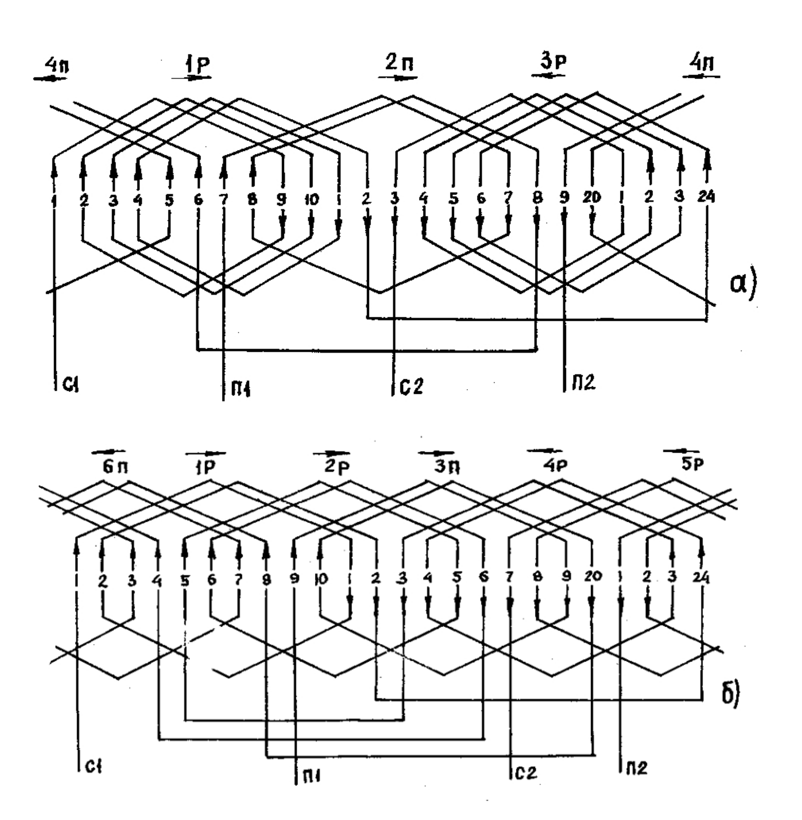


Рис. 5. Схемы однослойной равносекционной обмотки $Z = 24$, $2p = 2$.
а) в развалку qр = 8 = 4 + 4, yр = 8 (1 – 9), qп = 4 = 2 + 2, yп = 10 (1 – 11), КГр = КГп = 2,
б) рабочая – расчленена, qр = 8 = 2 + 2 + 2 + 2, КГр = 4 пусковая – в развалку qп = 4 = 2 + 2, КГп = 2, yр = yп = 10 (1 – 11).

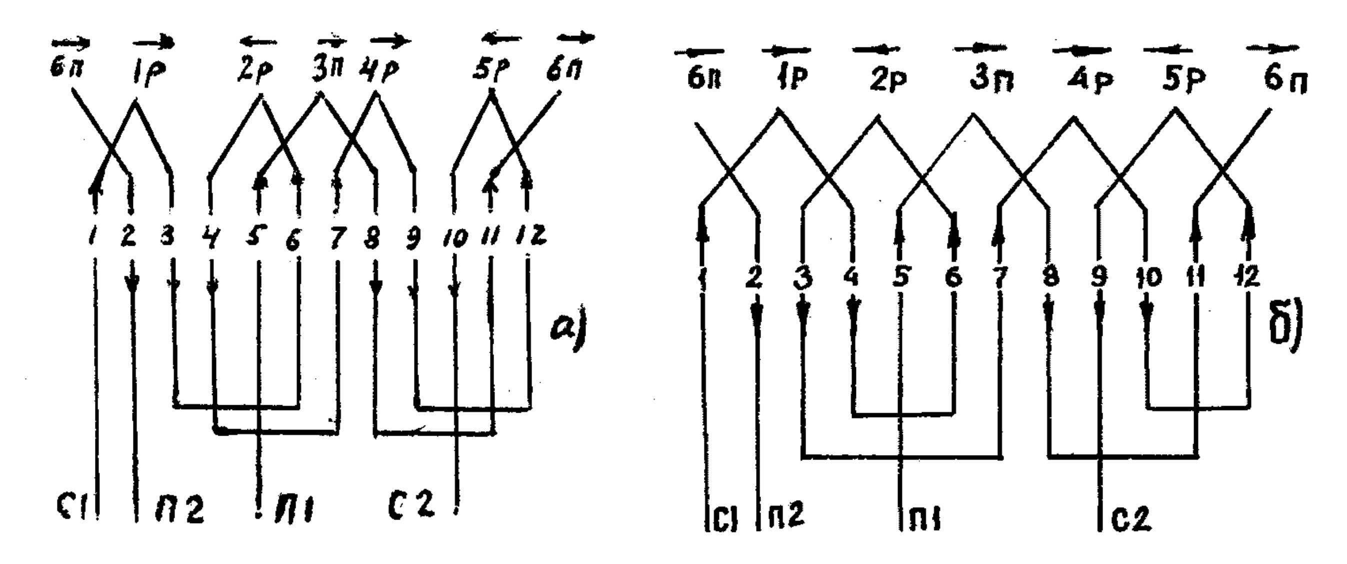


Рис. 6. Схемы однослойной обмотки $2p = 4$, $Z = 12$;
а) рабочая "в развалку" qр = 2 = 1 + 1, yр = 2 (1 – 3), КГр = 4, пусковая полными КГ,
qп = 1, yп = 3 (1 – 4), КГп = 2.
б) равносекционная – рабочая "в развалку", пусковая полными КГ, qр = qп = 1,
yр = yп = 3 (1 – 4), КГр = 4, КГп = 2.

Для однослойных равносекционных обмоток "в развалку" с четным числом пазов на полюс и фазу шаг определяется по формуле (3):

$$y\text{р или } y\text{п} = \frac{Z}{2p} - 0{,}5 \times q \quad (3)$$

При выполнении однослойной концентрической обмотки шаги секций в катушечных группах будут различны и составляются по шагу равносекционной обмотки. В однослойных обмотках "в развалку" соединение катушечных групп производится, как и в двухслойных обмотках – конец с концом, потом начало с началом, чередуясь периодически. С нечетным числом пазов на полюс и фазу катушечные группы "развалки" выполняются с разным числом секций, что делает обмотку не симметричной (см. рис. 4*а*).

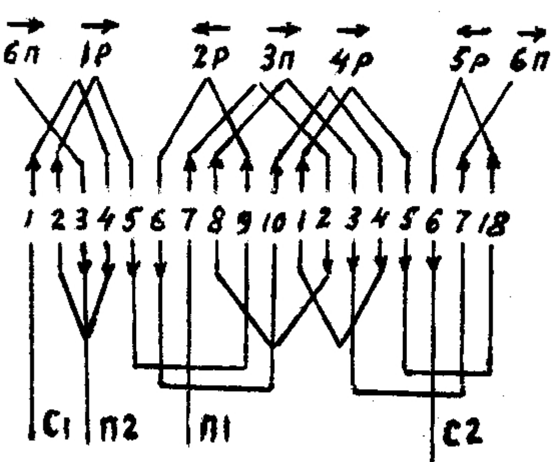


Рис .7. Схема однослойной обмотки $2p = 4$, $Z = 18$,
рабочая "в развалку" *q*р = 1 + 2, *y*р = 2 (1 – 3), 3 (1 – 4), 4 (1 – 5), КГр = 4,
пусковая полными КГ, *q*п = 1 и 2, *y*п = 4 (1 – 5), 5 (1 – 6), КГп = 2.

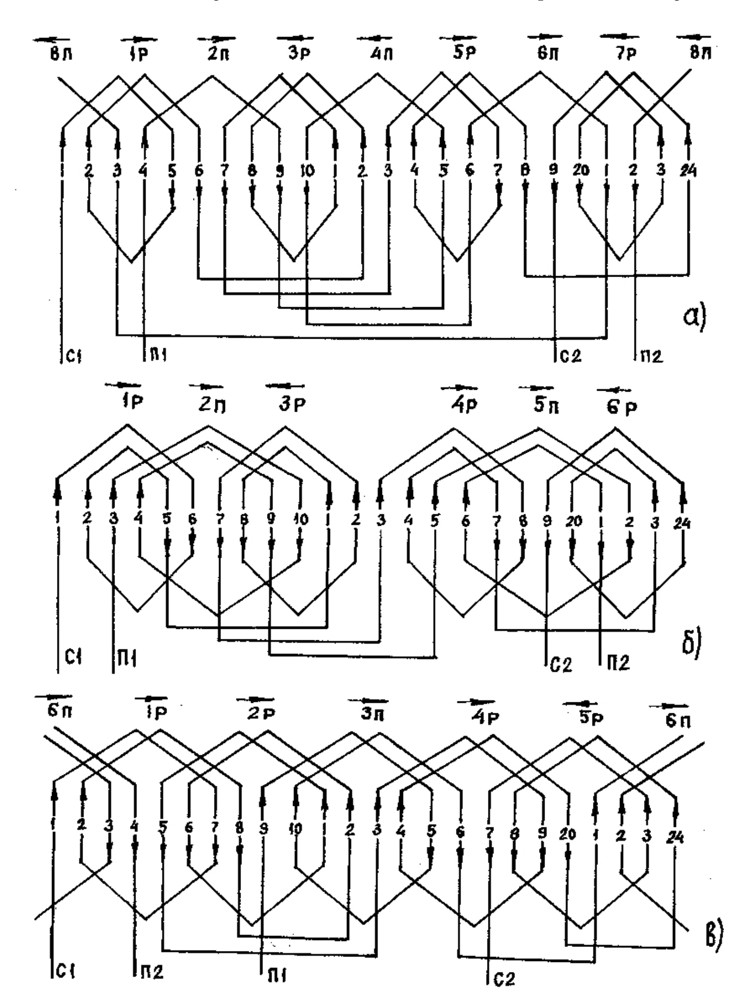


Рис. 8. Схемы однослойной обмотки
$2p = 4$, $Z = 24$;
а) рабочая "в развалку" *q*р = 4= 2 + 2,
*y*р = 4 (1 – 5)
пусковая "в развалку", *q*р = 2 = 1 + 1,
*y*п = 5 (1 – 6), КГр = КГп = 4.
б) рабочая "в развалку", qр = 4 = 2 + 2,
*y*п = 4 (1 – 5), КГр = 4, пусковая
полными КГ, *q*п = 2, *y*п = 6 (1 – 7),
КГп = 2.
в) равносекционная; *q*р = 4 = 2 + 2,
*q*п = 2, *y*р = *y*п = 6 (1 – 7),
КГр = 4, КГп = 2.

Для получения симметричной обмотки с нечетным числом пазов на полюс и фазу обмотку выполняют концентрической, а в катушечных группах расчесывают по одной секции (делят на две части), в результате чего катушечные группы получаются одинаковыми, при этом стороны расчесанных секций занимают половину паза (см. рис. 4*б*– комбинированная обмотка). Если при $2p = 2$ обе обмотки выполняют "в развалку" или делят на несколько частей, то при $2p = 4$ можно выполнять обе обмотки или "в развалку" или полными катушечными группами.

При полных катушечных группах шаг обмотки определяется по формуле (4):

$$y\text{р} \text{ или } y\text{п} = \frac{Z}{2p} \quad (4)$$

Соединение катушечных групп производится по схеме: конец с началом, конец с началом и т. д. Для запуска электродвигателей с однослойной обмоткой пусковая обмотка выполняется с бифиляром (порядка 20 процентов витков в каждой секции наматывают обратно) для уменьшения реактивного сопротивления. Пусковая обмотка с бифиляром после запуска электродвигателя обязательно отключается. Обмотка с числом пазов для рабочей ⅔ и пусковой ⅓ могут включаться с конденсаторами, тогда в бифиляре нет необходимости. После запуска электродвигателя пусковая обмотка с конденсаторами может отключаться или остается включенной. При отключении пусковой обмотки во время работы ⅓ пазов статора не используется, поэтому электродвигатель имеет пониженную мощность по сравнению с электродвигателем с включенной пусковой обмоткой.

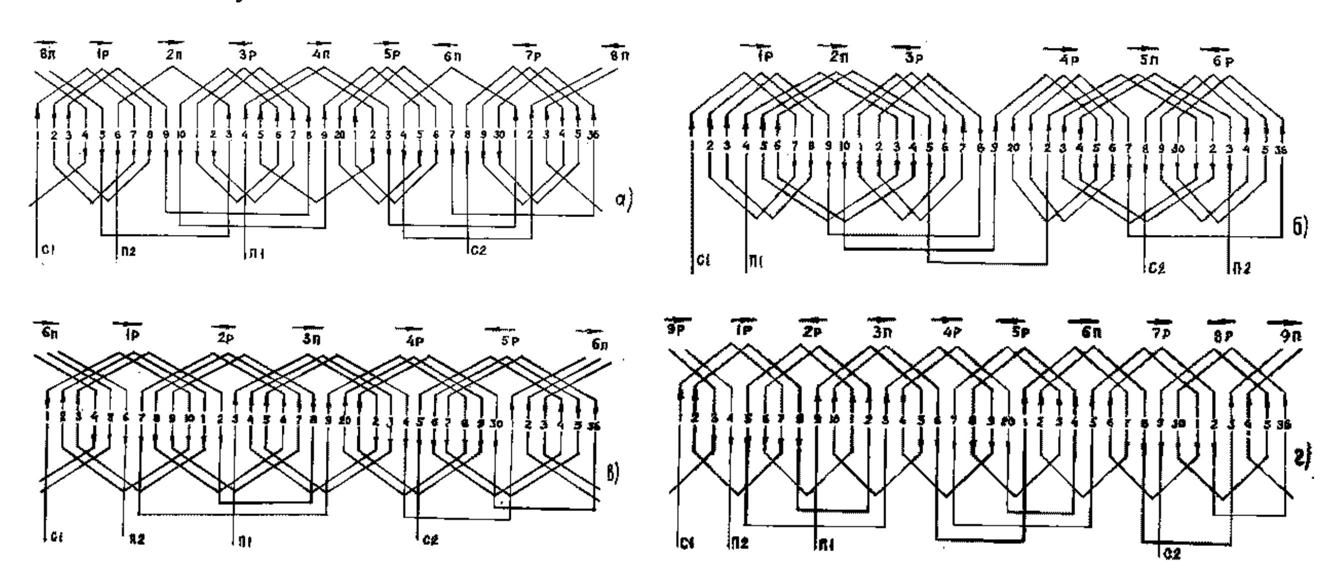
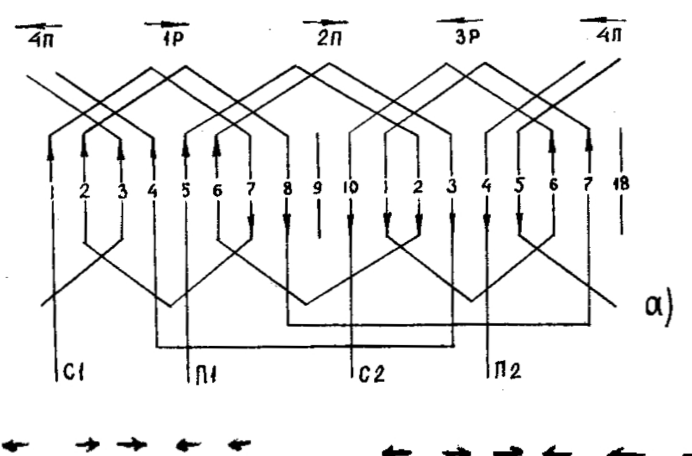
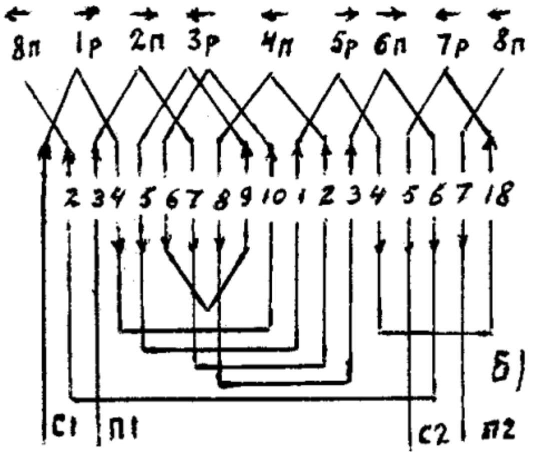


Рис. 9. Схемы однослойной обмотки Z = 36;
а) 2p = 4, в "развалку", КГр = КГп = 4, рабочая qр = 6 = 3 + 3, yр = 6 (1 – 7),
пусковая yп = 8 (1 – 9) и 7 (1 – 8) qп = 2 + 1,
б) 2p = 4, рабочая в "развалку" qр = 5 = 3 + 3, yр = 6 (1 – 7), КГр = 4
пусковая с полными КГ, qп = 3, yп = 9 (1 – 10), КГп = 2.
в) 2p = 4, равносекционная; рабочая в "развалку", пусковая полными КГ, qр = qп = 3,
yр = yп = 9 (1 – 10), КГр = 4, КГп = 2
г) 2p = 6, равносекционная; рабочая в "развалку", пусковая полными КГ, qр = qп = 2,
yр = yп = 6 (1 – 7), КГр = 6, КГп = 3.

2. 2. Обмотки с равным числом пазов в статоре для рабочей и пусковой.

Большое распространение получили однофазные обмотки, в которых рабочая и пусковая обмотки занимают по одинаковому числу пазов в статоре. Эти обмотки выполняются только с рабочими конденсаторами и при работе электродвигателя пусковая обмотка остается включенной.





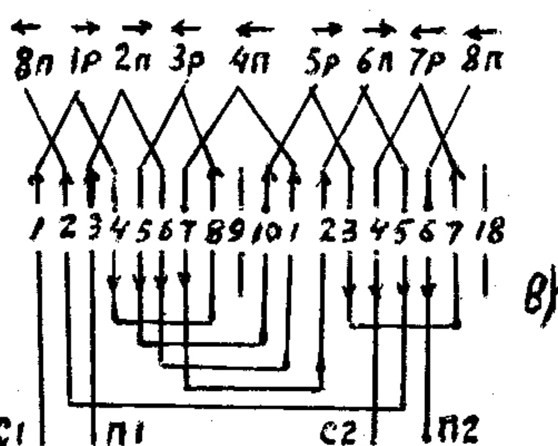


Рис. 10. Схемы однослойной обмотки в "развалку" с равным числом пазов для рабочей и пусковой (конденсаторные), Z = 18, КГр = КГп;
а) $2p$ = 2, равносекционная (с двумя свободными пазами) qр = qп = 2, yр = yп = 6 (1 – 7), КГр = КГп = 2.
б) $2p$ = 4, qр = 1 + 2, yр = 3 (1 – 4) и 4 (1 – 5),
пусковая qп = 1, yп = 4 (1 – 5) и 3 (1 – 4), КГр = КГп = 4.
в) $2p$ = 4, равносекционная (с двумя свободными пазами); qр = qп = 1, yр = yп = 3 (1 – 4), КГр = КГп = 4.

Они имеют малый пусковой момент (выше номинального в 1,3 раза) и для повышения его в 2 – 2,5 раза параллельно рабочему конденсатору включается пусковой (рис. 17*в*). Такое соотношение пазов позволяет обмотку выполнять равносекционной с одинаковым числом секций в катушечных группах и одним шагом для рабочей и пусковой (рис. 10 *а*, *б*, *в*, 11 *а*, *б*, *в*, 12 *а*, *б*).
Число пазов на полюс и фазу определяется по формуле (5):

$$q\text{р} = q\text{п} = \frac{Z}{2p} \times ½ = \frac{Z}{4p} \quad (5)$$

обмотки выполняют как двухслойные так и однослойные, при чем последние могут быть равносекционные или концентрические. Для однослойной равносекционной обмотки в "развалку" шаг определяется по формуле (3), а для двухслойной обмотки шаг укорачивается на одну треть и рассчитывается по формуле (2).

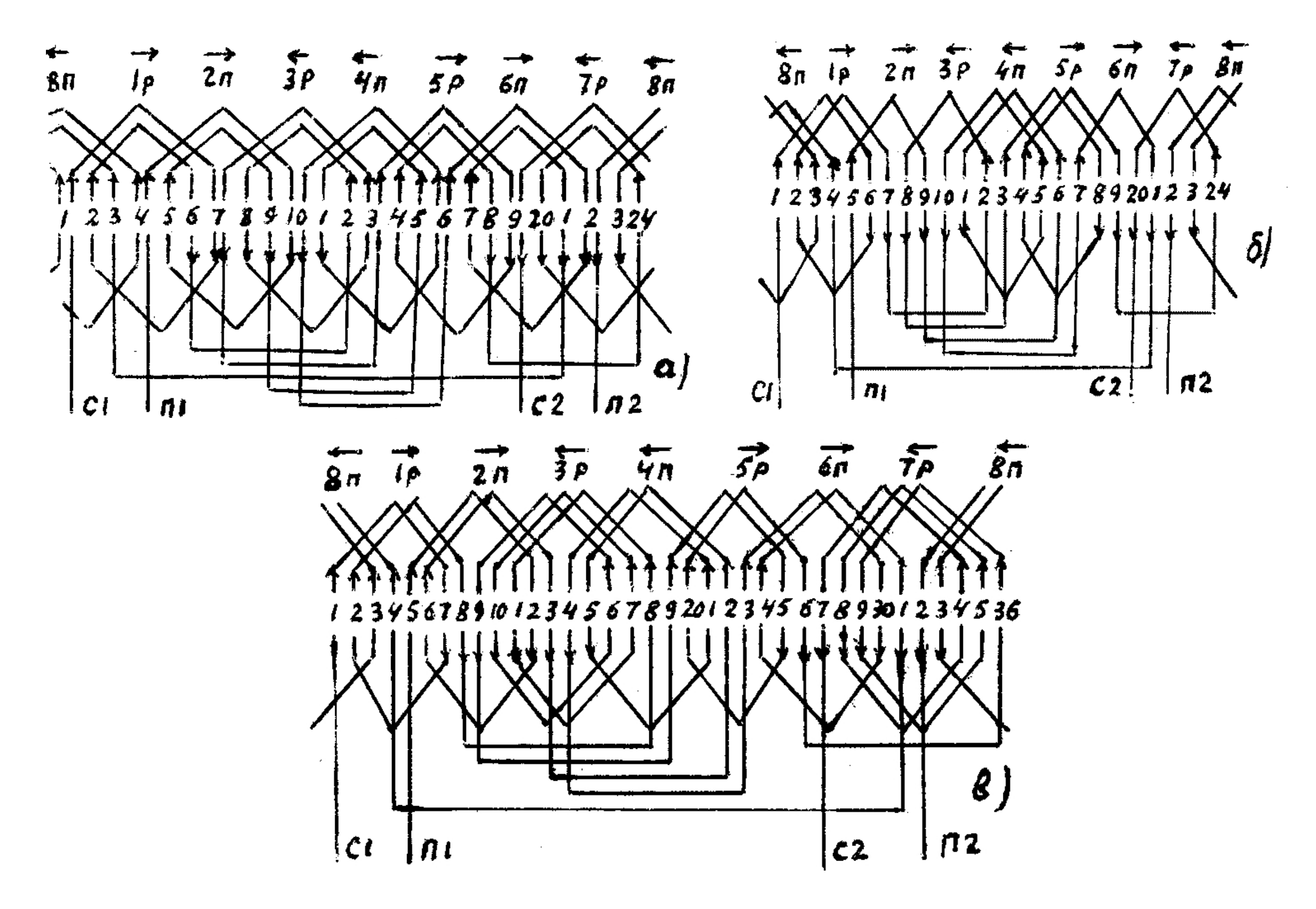


Рис. 11. Схемы однослойной обмотки в "развалку" с равным числом пазов для рабочей и пусковой $2p$ = 4, КГр = КГп = 4;
а) Z = 24 равносекционная с расчесанной секцией (комбинированная), qр = qп = 2, yр = yп = 6 (1 – 7), 4 (2 – 6)
б) Z = 24, qр = qп = 2 + 1, yр = yп = 5 (1 – 6) и 4 (1 – 5)
в) Z = 36, qр = 2 + 3, yр = 6 (1 – 7) и 7 (1 – 8), qп = 4 = 2 + 2, yп = 7 (1 – 8).

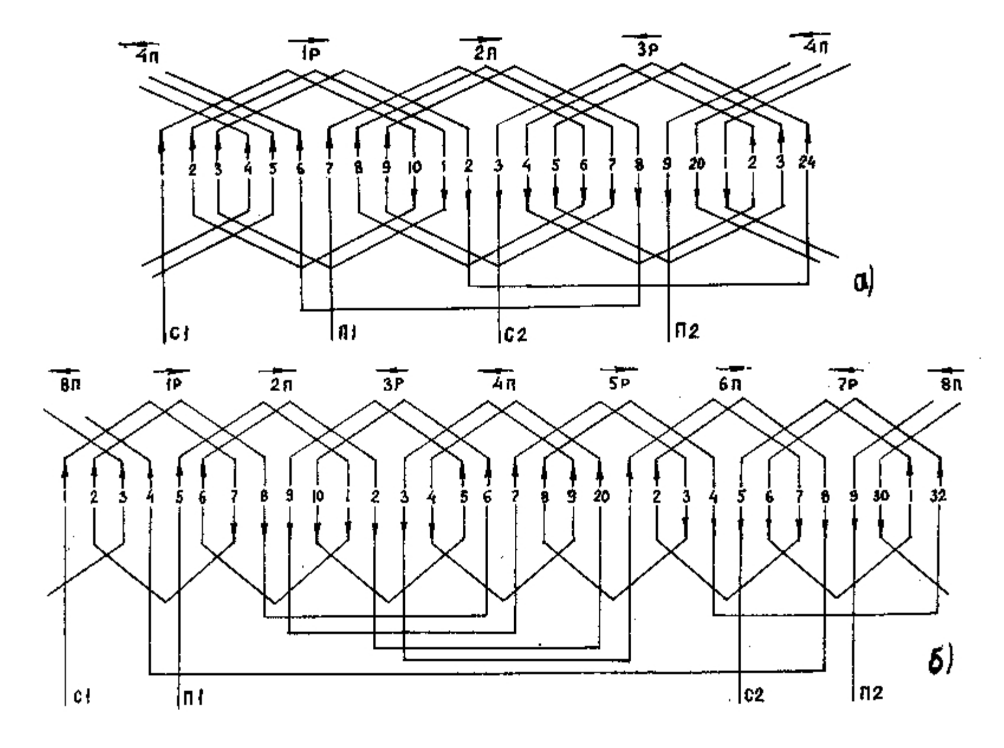


Рис. 12. Схемы однослойной равносекционной обмотки в "развалку" с равным числом пазов для рабочей и пусковой, КГр = КГп.
а) Z = 24, $2p$ = 2, qр = qп = 3, yр = yп = 9 (1 – 10), КГр = КГп = 2
б) Z = 32, $2p$ = 4, qр = qп = 2, yр= yп = 6 (1 – 7), КГр = КГп = 4.

По сравнению с однослойными равносекционными, концентрические обмотки (рис. 4*б*, 8*б*) уменьшают лобовую часть и позволяют производить укладку в пазы статора машинным способом, но так как электромагнитные характеристики их равнозначны, то они взаимозаменяемы. Пусковая обмотка чаще выходит из строя, поэтому во всех электродвигателях ее укладывают сверху, что позволяет заменить, не нарушая рабочую обмотку, при этом в зависимости от возможности у ремонтников можно выполнить концентрической или равносекционной как полностью, так и частично.

2. 3. Специальные обмотки.

Помимо приведенных однофазных обмоток применяются специальные обмотки, называемые "синусными". По своему исполнению они сочетают в себе обмотки однослойные и двухслойные, а по форме групп подобны однослойным с концентрическими секциями (одно–двухслойным). Все или часть секций делятся на две части и стороны полусекций, располагаются на внутренней части катушечных групп в одних пазах, относящихся к рабочей и пусковой обмоткам. Характерным для "синусных" обмоток является то, что все полусекции заполняются разным числом витков, которые распределяются по пазам в строго определенном порядке, где для каждого паза указаны число проводников рабочей и пусковой обмоток. Такое распределение сторон полусекций по пазам улучшает форму кривой магнитного поля, приближая ее к синусоидальной, что улучшает технические характеристики электродвигателя. Несоблюдение этого условия не только ухудшает характеристики, даже по сравнению с простыми обмотками, но и может привести к тому, что электродвигатель не будет работать.

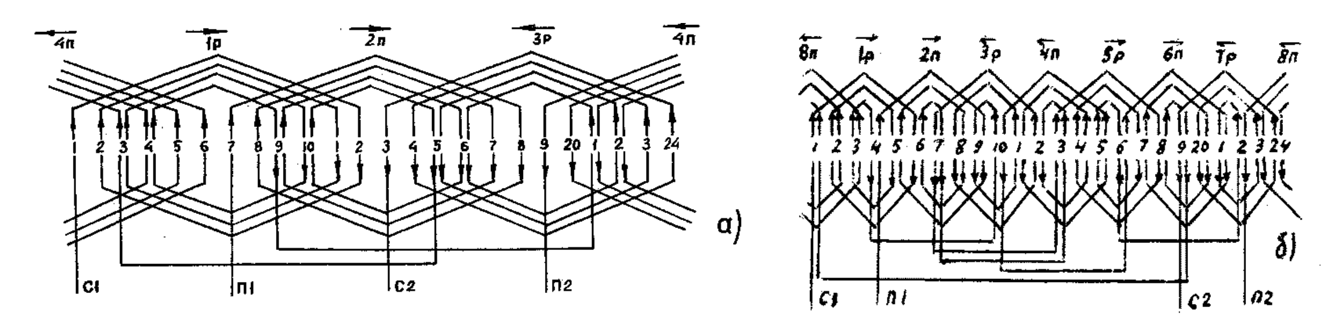


Рис. 13. Схемы синусной равносекционной обмотки "в развалку" Z = 24, КГР = КГп;
а) $2p$ = 2, qр = qп = 6, yр = yп = 11 (1 – 12), 9 (2 – 11), 7 (3 – 10), 5 (4 – 9), КГр = КГп = 2.
б) $2p$ = 4, qр = qп = 4, yр = yп = 5 (1 – 6), 3 (2 – 5), 1 (3 – 4), КГр = КГп = 4.

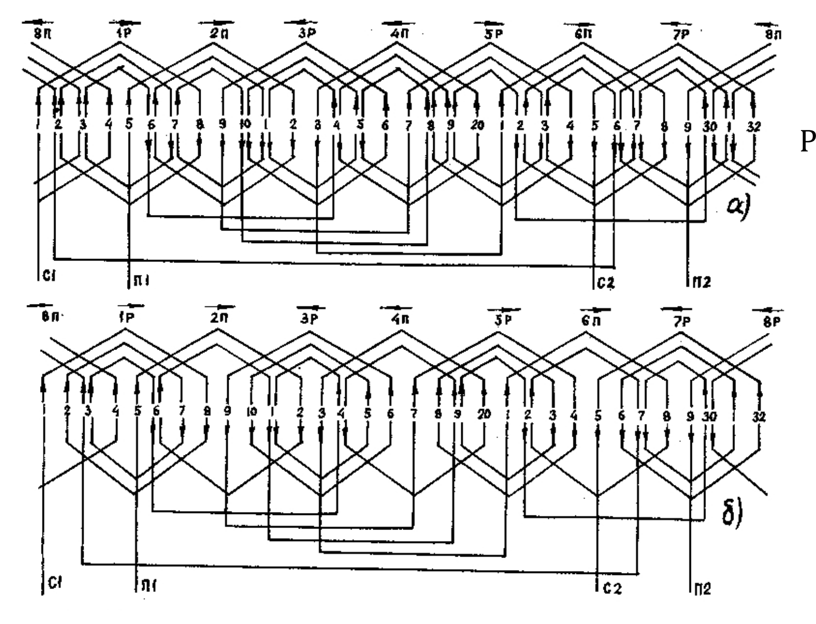


Рис. 14 "Схемы синусной обмотки "в развалку",
Z = 32, $2p$ = 4,
КГр = КГп;
а) равносекционная
qр = qп = 4,
yр = yп = 11 (1 –12),
9 (2 – 11) 7 (3 – 10), 5 (4 – 9),
КГр = КГп = 2
б) yр = 7 (1 – 8), 5 (2 – 7),
3 (3 – 6),
уп = 6 (1 – 7), 5 (2 –6).

С "синусными" обмотками однофазные электродвигатели выпускают конденсаторными при равном числе пазов для обеих обмоток, а при соотношении пазов ⅔ – для рабочей и ⅓ – для пусковой могут выпускаться без конденсаторов или бифилярных витков. В последнем случае после запуска электродвигателя пусковая обмотка отключается. Специальные обмотки приведены на рис. 13, 14 (схемы *а*, *б*)

3. Расчет числа проводников, сечения провода и мощности в обмотках, которые занимают число пазов в статоре ⅔ для рабочей и ⅓ для пусковой.

При одинаковом напряжении теоретически общее число витков в фазе трехфазного электродвигателя равно числу витков в рабочей обмотке однофазного электродвигателя. В однофазном электродвигателе фазная зона основной обмотки имеет 120 градусов, а это требует увеличения витков в фазе на 15 процентов и за счет пульсирующего поля увеличивается скольжение ротора приблизительно в два раза в сравнении с трехфазным электродвигателем, что ведет к повышению тока холостого хода. Учитывая изложенное для однофазного электродвигателя, надо увеличить число витков в обмотках, или число проводников в пазу на 20–30 процентов, которые соответствуют коэффициенту замены обмотки в пределах *К*о = 1,2–1,3.
Так как в однофазном электродвигателе рабочая обмотка имеет число пазов на полюс и фазу в два раза больше, чем в трехфазной обмотке, то предел коэффициента замены для рабочей обмотки (*К*о) будет в два раза меньше.

$$K\text{o} = \frac{1{,}2 \div 1{,}3}{2} = 0{,}6 \div 0{,}65$$

Большее значение предельной величины соответствует меньшей мощности электродвигателей. Если электродвигатель работает в повторно кратковременном режиме, то принятый коэффициент замены обмотки можно уменьшить на 0,1. Из выше изложенного видно, что при определении числа проводников обмотки однофазного электродвигателя необходимо знать число проводников в пазу трехфазного электродвигателя, которые берутся из каталога обмоточных данных или пересчитываются при удалении сгоревшей обмотки.
Более распространенным стандартом напряжения сети является 220 и 380 *в*, поэтому в большинстве промышленностью выпускаются трехфазные трансформаторы и электродвигатели на напряжение 220/380 *в*, соединением выводов обмотки в треугольник и в звезду (△/Y), при этом фазное напряжение в обоих случаях составляет 220 *в*. В связи с этим однофазные электродвигатели также выпускаются с обмотками напряжением 220 *в*. При такой взаимосвязи напряжений пересчет обмоточных данных с трехфазных электродвигателей на однофазные является простым.
Для рабочей обмотки число проводников в пазу определяется:

$$N\text{р} = Ko \times N \quad (6)$$

Так как пусковая обмотка занимает число пазов в два раза меньше по сравнению с рабочей, то число проводников в пазу для нее будет в два раза больше, чем число проводников в пазу для рабочей обмотки:

$$N\text{п} = N\text{р} \times 2 \quad (6\text{а})$$

Сечение провода для рабочей (*S*р) обмотки изменяется в обмоточный коэффициент замены обмотки:

$$S\text{р} = \frac{S}{K\text{о}} \quad (7)$$

Пусковая обмотка используется только для запуска однофазного электродвигателя, поэтому должна иметь большое омическое сопротивление, а значит, порядка в 2 раза меньше сечения провода рабочей обмотки:

$$S\text{п} = \frac{S\text{р}}{2} \quad (7a)$$

где: Nр, Sр, Nп, и Sп, N и S – число проводников в пазу и сечение провода: рабочей, пусковой и трехфазной обмоток. С переходом с однослойной обмотки на двухслойную число проводников в пазу увеличивается в обмоточный коэффициент Kу = 0,87, а диаметр провода уменьшается на одну ступень. При других напряжениях обмоток электродвигателей трехфазного или однофазного пересчет обмоточных данных производится по формулам (8) и (9).
Пересчет числа проводников в пазу статора рабочей обмотки:

$$N\text{р} = K\text{о} \times N \times \frac{U\text{о}}{U\text{ф}} \quad (8)$$

Пересчет сечения провода рабочей обмотки:

$$S\text{р} = \frac{S \times N}{N\text{р}} \quad (9)$$

где Uф – фазное напряжение обмотки трехфазного электродвигателя; Uо – напряжение обмотки однофазного электродвигателя. Мощность электродвигателя определяется по формуле:

$$P\text{о} = Uo \times I\text{о} \times cos\varphi \times \eta \times 10^{-3}\ \text{кВт} \quad (10)$$

где: Pо – мощность однофазного электродвигателя в *кВт*; Iо – номинальная сила тока в амперах однофазного электродвигателя, которая определяется произведением сечения рабочей обмотки на плотность тока.

$$Io = Sp \times j \quad (11)$$

j – плотность тока в $A/мм^2$, cosφ × η – коэффициенты мощности и полезного действия (произведение), принимаются по таблице для однофазных электродвигателей в зависимости от мощности (P *кВт*) или расточки диаметра статора (D в *см.*), трехфазного электродвигателя, переделываемого на однофазный.

P, кВт. трехфазн.	*D, см.*	3000		1500		*Ко*
		j	cosφ×η	*j*	cosφ×η	
0,2 – 1	5 – 10	9,2 – 7,7	0,5	9 – 7,5	0,48	0,65
1,1 – 4	10 – 15	7,7 – 6,2	0,6	7,5 – 6	0,56	0,6

4. Пример пересчета обмоточных данных электродвигателя с трехфазного на однофазный.

Электродвигатель трехфазного тока А42/4, P = 2,8 *кВт*, Z = 36, 2p = 4, 220/380 *в*, △/Y в заводском исполнении с однослойной обмоткой, диаметральным шагом y = 9 (1 – 10), имеет в пазу проводников N = 36, сечение провода S = 1,13 *мм.*, диаметром d = 1,2 *мм.*
Определяем необходимые параметры для однофазного электродвигателя.

4. 1. Обмотку принимаем однослойную: рабочая обмотка "в развалку", пусковая обмотка с полными катушечными группами (рис. 9*в*), при этом КГр = p = 2 = (4–развалка), КГп = 2.
4. 2. Число пазов на полюс и фазу обмоток:

$$q\text{п} = \frac{Z}{6p} = \frac{36}{6 \times 2} = \frac{36}{12} = 3 \text{ полные КГ} \quad q\text{р} = \frac{Z}{3p} = \frac{36}{3 \times 2} = 6 = 3 + 3 \text{ развалка}$$

4. 3. Шаг обеих обмоток равен диаметральному:

$$y\text{р} = y\text{п} = \frac{Z}{2p} = \frac{36}{2 \times 2} = 9\ (1\text{–}10)$$

4. 4. Число проводников в пазу для обмоток:

$$N\text{р} = 36 \times 0{,}63 = 22{,}7 = 23 \text{ проводника}$$

Nп = Nр × 2 = 23 × 2 = 46 проводников, из них бифилярных витков можно принять 20 процентов, 46 × 0,20 = 9,2 = 10 проводников.
4. 5. Сечение провода обмоток:

$$S\text{р} = \frac{S}{K\text{о}} = \frac{1{,}13}{0{,}63} = 1{,}8 \text{ мм}^2, d\text{р} = 1{,}5 \text{ мм.}$$

или

$$S\text{р} = \frac{S \times N}{N\text{р}} = \frac{1{,}13 \times 36}{23} = 1{,}75 \text{ мм}^2, \text{принимаем } d\text{р} = 1{,}5 \text{ мм.}$$

которому соответствует сечение Sр = 1,77 $мм^2$.
Сечение пусковой обмотки в два раза меньше:

$$S\text{п} = \frac{S\text{р}}{2} = \frac{1{,}77}{2} = 0{,}68 \text{ мм}^2 \quad d\text{п} = 1{,}06 \text{ мм.}$$

4. 6. Определение номинальной силы тока:
По таблице принимаем плотность тока j = 6,5 $А/мм^2$

$$I\text{о} = S\text{р} \times j = 1{,}77 \times 6{,}5 = 11{,}5\ A$$

4. 7. Определяем мощность однофазного электродвигателя.
По таблице для трехфазного электродвигателя 2,8 *кВт* берем коэффициенты мощности (cosφ) и полезного действия (η) произведение – 0,6.

$$P\text{о} = Uo \times Io \times cos\varphi \times \eta \times 10^{-3} = 220 \times 11{,}5 \times 0{,}6 \times 10^{-3} = 1{,}5 \text{ кВт}$$

разделах 7.1, 7.2, 7.3 приведены готовые обмоточные данные однофазных электродвигателей, пересчитанных с трехфазных, серии А, АО, АЛ2 и 4А для Z = 24 на $2p$ = 2 и для Z = 24, 36 на $2p$ = 4, с однослойной обмоткой, с бифиляром и двухслойной обмоткой с укороченным шагом β = 0,67 занимающих число пазов статора для рабочей ⅔ и для пусковой – ⅓.

5. Запуск и работа однофазного электродвигателя.

Для запуска и работы электродвигателя применяется специальный однофазный кнопочный механический пускатель ПНВ. На (рис. 15) показано три положения пускателя ПНВ при включении рабочей "р" и пусковой "п" обмоток от электросети. При запуске электродвигателя нажимается кнопка "пуск", подается питание на рабочую и пусковую обмотку (положение – *а*). Нажатой кнопку необходимо держать порядка 2–3 секунды, до разворота электродвигателя (до нормальных оборотов). После прекращения нажатия на кнопку "пуск" крайние контакты, питающие рабочую обмотку, остаются включенными, а средний – отходит на 2–3 *мм*, и отключает пусковую обмотку (положение *б*). Для отключения электродвигателя от сети достаточно нажать на кнопку "стоп", при этом все контакты отключаются (положение *в*).

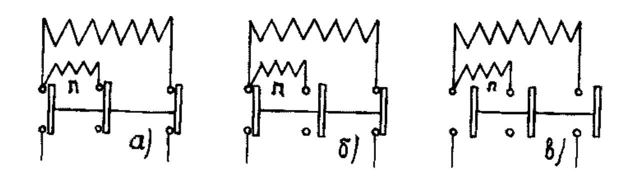


Рис. 15. Схемы пускателя; *а*) пуск; б), работу; *в*) отключено.

Если при включении кнопку "пуск" держать нажатой в течение продолжительного времени, то может сгореть пусковая обмотка, так как она рассчитана на кратковременную работу, т. е. для пуска. Если при нажатии кнопки "пуск" ротор электродвигателя не разворачивается за счет нагрузки или неисправности приводящего агрегата или электродвигателя, то необходимо немедленно его отключить, нажав кнопку "стоп".
Несмотря на то, что пусковая обмотка имеет увеличенное по сравнению с рабочей обмоткой активное сопротивление за счет сечения, все же с однослойной обмоткой электродвигатели запускаются труднее, особенно на 3000 *об. мин.* Для улучшения пуска электродвигателей необходимо увеличить сопротивление "беличьего колеса" ротора и воздушный зазор на 10–20 процентов, чтобы не было прилипания. Первое достигается обточкой торцевых частей, замыкающих колец, второе – шлифовкой ротора. Кроме того, пуск можно улучшить разрезанием нескольких стержней ротора, расположенных симметрично по окружности, путем высверливания. Но следует учитывать, что все эти мероприятия увеличивают скольжение электродвигателя. Наличие скошенных пазов статора или ротора также улучшает запуск и работу электродвигателя.
Для создания лучших условий запуска и работы однофазного электродвигателя стараются применять двухслойную обмотку с укороченным шагом, равным ⅔ диаметрального.
Если для рабочей обмотки с фазной зоной 120 градусов это не требуется, то в пусковой обмотке с зоной 60 градусов и в обеих обмотках с зоной 90 градусов, такое укорочение уничтожает третью гармонику, улучшая кривую поля. На практике известно, что при другой величине укороченного шага в двухслойной обмотке, в зависимости от типа электродвигателя и соотношения пазов статора и ротора можно не только не улучшить характеристики электродвигателя, но и получить их более худшими по сравнению с электродвигателем с простой однослойной обмоткой. Улучшение запуска однофазных электродвигателей достигается также при однослойной обмотке с бифилярными (обратными) витками в пусковой обмотке, порядка 20–25 процентов от общего числа (рис. 16). На рис. 16*а* в секции намотано всего 6 витков, в том числе основных – 4 и обратных (бифилярных) – 2. Значит, эффективных витков будет 4 – 2 = 2.
При намотке пусковой обмотки на шаблоне в каждой секции отделяются обратные витки и перевязываются отдельно от секции.

При снятии пусковой обмотки с шаблона бифилярные витки переворачиваются на 180 градусов и перевязываются вместе с каждой секцией. На каждой стороне секции образуется петля: одна изменяет направление витков, вторая является переходом в следующую секцию (рис. 16 *б*) Соединение схемы или укладка целыми фазами обмотки производится так же как, и без наличия бифилярных витков.
Несмотря на принятие всевозможных мер, у однофазных электродвигателей запуск все равно затруднен и возможен только при небольшой нагрузке. Если двигатель находится на одном валу с агрегатом, то он должен быть без нагрузки, а если соединение с агрегатом ременное, то необходимо делать приспособление, ослабляющее натяжение ремня во время пуска. Чтобы производить запуск однофазного электродвигателя под нагрузкой, необходимо добиться в рабочей и пусковой обмотке сдвига токов во времени на 90 градусов, что позволит иметь круговое вращение магнитного поля. Для этого в пусковую обмотку необходимо включать конденсаторы. При наличии емкости ток в пусковой обмотке не отстает, а опережает ток в рабочей обмотке. После запуска электродвигателя пусковую обмотку можно отключать или оставлять включенной.

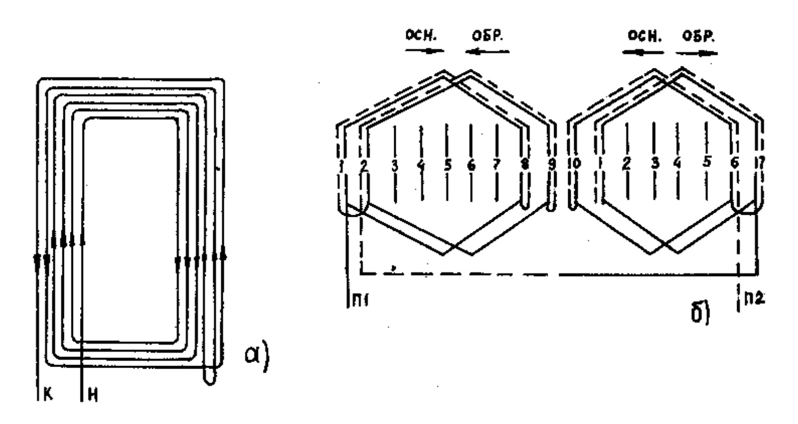


Рис. 16. Схемы расположения бифилярных витков:
а) катушка с бифиляром; б) пусковая обмотка с бифиляром.

Наличие обратно намотанных витков, образующих встречные токи, уничтожают часть магнитного потока, способствует уменьшению реактивного сопротивления. В пусковой обмотке будет преобладать активный ток, тогда как в рабочей обмотке преобладающим будет реактивный ток. При однослойной обмотке с наличием бифилярных витков между токами пусковой и рабочей обмотки происходит сдвиг на определенный угол, поэтому магнитное вращающееся поле вместо пульсирующего будет эллиптическим.

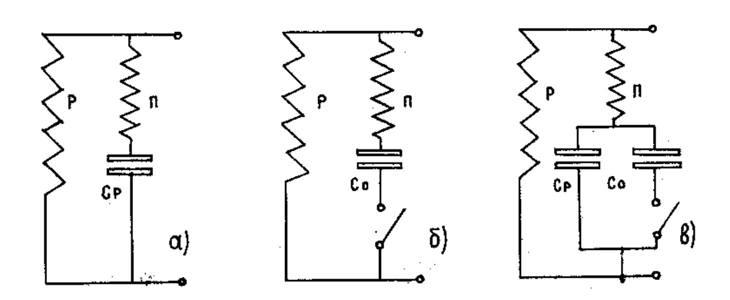


Рис .17. Схемы включения конденсаторов;
а) рабочих; б) пусковых, в) рабочих и пусковых.

На рис. 17 показано включение рабочей (р) и пусковой (п) обмоток с конденсаторами рабочими (Ср) и пусковыми (Со). Рабочие конденсаторы одновременно являются пусковыми. Электродвигатели, у которых пусковая обмотка после запуска отключается называются однофазными электродвигателями с двухфазным запуском.

Хотя конденсаторные однофазные электродвигатели включаются в однофазную сеть, они могут работать от этой же сети как двухфазные с высокими коэффициентами мощности – 0,8–0,95 и полезного действия – 60–75 процентов. В этом случае пусковая обмотка как при запуске, так в работе электродвигателя должна быть во включенном состоянии (рис. 17*а*). Для запуска и работы электродвигателя с рабочими конденсаторами не требуется специального пускателя, достаточно штепсельной вилки и розетки. Чтобы изменить направление вращения электродвигателя, достаточно поменять вывода одной из обмоток.
Если конденсаторы после запуска электродвигателя отключаются вместе с пусковой обмоткой, то они называются пусковыми (рис. 17*б*). Кроме этого, существует схема с наличием конденсаторов включенных между собой параллельно, одна часть которых отключается, вторая – остается включенной с пусковой обмоткой (рис. 17*в*).
В этом случае конденсаторы служат: первые – пусковыми (Со), вторые – рабочими (Ср). Общая пусковая емкость Сп = Ср + Со. Емкость конденсаторов определяется по формулам. Рабочая емкость при заданном напряжении:

$$C\text{р} = 2200 \times \frac{P\text{о}}{U_0^2} \text{ микрофарад } (12)$$

при напряжении 220 *в*:

$$C\text{р} = 0{,}045 \times P\text{о} \text{ микрофарад } (12\text{а})$$

пусковая емкость:

$$C\text{п} = 2{,}5 \times C\text{р} \text{ микрофарад } (13)$$

отключаемая емкость:

$$C\text{о} = C\text{п} - C\text{р} \ (14)$$

где: Cр – рабочая емкость электродвигателя в микрофарадах. Cп – пусковая емкость в микрофарадах; Cп = Cр + Cо, Со – отключаемая емкость после запуска электродвигателя в микрофарадах. Pо – мощность однофазного электродвигателя после перемотки из трехфазного в ваттах; Uо – напряжение в вольтах

Из формул видно, что для запуска электродвигателя, в зависимости от нагрузки, требуется приблизительно в два с половиной раза большая емкость, чем для повышения его мощности. Практически для однофазного электродвигателя при работе под нагрузкой можно принять пусковую емкость порядка 11 микрофарад, из них для повышения мощности электродвигателя, рабочей емкости необходимо около 4,5 микрофарад конденсаторов, которые постоянно включены, а отключаемая пусковая емкость составляет 6,5 микрофарад (разница между общей пусковой и рабочей емкостями) на каждые 100 Ватт мощности При запуске электродвигателя рабочая емкость выполняет роль также и пусковой, рассчитывается по формуле (14а).

$$\text{Сп} = \text{Ср} + \text{Со} = 4{,}5 + 6{,}5 = 11 \text{ микрофарад}$$

Расчетным путем все же трудно добиться требуемой емкости для однофазного электродвигателя как для запуска под нагрузкой, так и для получения максимальной мощности. Только при правильном подборе емкости конденсаторов можно достичь нормального запуска и увеличения мощности однофазного электродвигателя, близкой к мощности трехфазного, обмотка которого перемотана на однофазный. Как при меньшей, так и при большей емкости могут быть ухудшены запуск и работа электродвигателя.

Подбор емкости производится следующим образом. Расчетом определив емкость, подбирают количество конденсаторов и включают их в пусковую обмотку. При пробном пуске электродвигателя, увеличивая или уменьшая число конденсаторов по сравнению с расчетным, добиваются нормального запуска электродвигателя.

Если электродвигатель имеет достаточную мощность для приводимого агрегата, то вся емкость пусковых конденсаторов после запуска электродвигателя отключается вместе с пусковой обмоткой. Если электродвигатель окажется маломощным, то конденсаторы разбиваются на две параллельные части, одна из них равна расчетной емкости рабочих конденсаторов, которые после запуска электродвигателя остаются включенными вместе с пусковой обмоткой, вторая часть емкости отключается специальным выключателем (рис. 17*в*).

В рабочую обмотку устанавливается амперметр и путем изменения количества рабочих конденсаторов, за счет отключаемых, добиваются оптимальной их величины, при которой обмотки создают круговое магнитное вращающееся поле, а значит достигается наибольшая мощность однофазного электродвигателя. При постоянной нагрузке электродвигателя оптимальная величина рабочей емкости будет при наименьшей силе тока на амперметре.

В конденсаторных электродвигателях можно заменить ротор на массивный, выточив его из стали или чугуна (без пазов и обмотки). Такие электродвигатели имеют большой пусковой момент и скорость их можно регулировать в больших пределах реостатом в цепи рабочей обмотки, при этом электродвигатели работают устойчиво. Электродвигатели надежны и бесшумны в работе, но вследствие больших потерь в роторе и магнитного рассеяния имеют более низкий коэффициент мощности и полезного действия. По характеристикам эти двигатели соответствуют коллекторным или двигателям постоянного тока. В разделе 7.4, 7.5, приведены данные электродвигателей, выпускаемых нашими заводами. В разделе 7.8 – данные для двигателей болгарского производства.

Несмотря на то, что однофазные электродвигатели с емкостью легко запускаются в ход, значительно улучшают коэффициент мощности и полезного действия, увеличивают мощность и работают более устойчиво, все же из–за громоздкости и дополнительных затрат приходится от конденсаторов отказываться. В этом случае для запуска электродвигателя обычно находят способы избавления от нагрузки в момент запуска, а для большой нагрузки подбирают более мощный трехфазный электродвигатель, обмотку которого перематывают на однофазный.

Помимо однофазных электродвигателей с рабочей и пусковой обмотками заводы–изготовители используют некоторые электродвигатели трехфазного тока серии А2 , 4А, АИР (малой мощности) для работы от однофазной сети 220 *в* за счет установки на корпусе специальных электролитических конденсаторов типа К50–19 пусковых отключаемых у (Ср), рабочих Т (Ср) или одновременно пусковых отключаемых и рабочих – УТ (Сп) = У (Со) + Т (Ср). откуда видно, что пусковые отключаемые конденсаторы емкостью больше рабочих приблизительно в 5 раз для $2p = 2$ и в – 3,5 раза для $2p = 4$. Следовательно, любой маломощный трехфазный электродвигатель 127/220 *в* необходимо соединять в звезду (Y), рис. 18*а* и 220/380 *в* – в треугольник (△), рис. 18*б*, при этом конденсаторы включают между двумя любыми выводами, а питание подается на свободный вывод и к любому выводу с конденсаторами в зависимости от направления вращения ротора. Последний вариант позволяет не только производить запуск, но и добиться повышения мощности электродвигателя близкой к работе его от трехфазной сети. Например, электродвигателям трехфазного тока встроены конденсаторы:

АИРЗУТ 71А–2, 0,55 *кВт*, емкостью У = 200 и Т = 37 *мкф*
АИРЗУТ 71 В–2, 0,75 *кВт*, – У = 250 и Т = 55 *мкф*
АИРЗУТ 71А–4, 0,37 *кВт*, – У =120 и Т = 30 *мкф*
АИРЗУТ 71 В–4, 0,55 *кВт*, – У = 140 и Т = 45 *мкф*

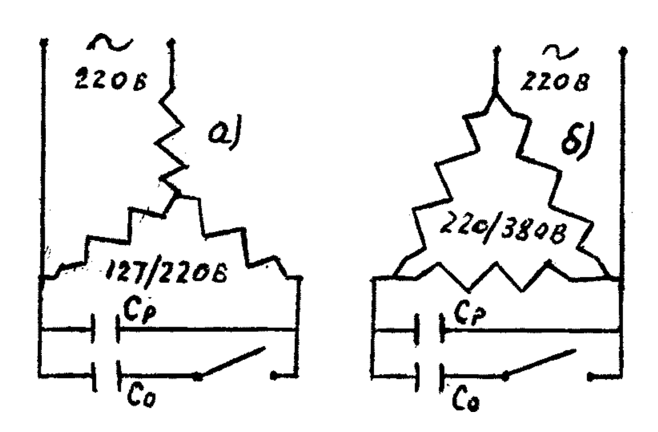


Рис. 18. Схемы включения конденсаторов в обмотку трехфазных электродвигателей: а) при напряжении 127/220 *в*, б) при напряжении 220/380 *в*.

6. Конденсаторы.

Конденсаторы применяются в самых различных областях электротехники, в том числе в технике сильных токов для повышения коэффициента мощности. Как указывалось выше, без конденсаторов нельзя обойтись для пуска и работы однофазных электродвигателей, которые называются конденсаторными. Конденсаторные электродвигатели развивают большую полезную мощность, как асинхронные короткозамкнутые они очень просты по устройству и надежны в работе, а также питание их осуществляется от однофазной двухпроводной сети (освещения). Ценным свойством их является высокий коэффициент мощности (cosφ), практически иногда достигающий единицы. В этом случае электродвигатели потребляют ток из сети, пропорциональный только активной мощности, так как источником реактивной мощности для них являются сами конденсаторы.

Пусковая и рабочая емкость, при определенном напряжении сети и принятой схемой включения, зависит от мощности электродвигателя.

Конденсаторные однофазные электродвигатели будут иметь хорошие характеристики в том случае, если емкость конденсаторов будет оптимальной величиной, т. е. соответствует номинальной мощности электродвигателя.

Из формулы 12 видно, что рабочая емкость прямо пропорциональна мощности и обратно пропорциональна напряжению электродвигателя. В свою очередь, определенной мощности соответствует номинальная сила тока электродвигателя. Емкость и сопротивление конденсатора находятся в обратной зависимости. Чем меньше емкость, тем больше сопротивление и наоборот.

Изменение емкости сопровождается изменением тока, следовательно, может быть, что ток конденсаторной фазы может оказаться меньше или больше номинального тока электродвигателя. Поэтому в первом случае мощность электродвигателя не используется, во втором будет перегрев обмотки и повышение напряжения на отдельных участках конденсаторной фазы или на конденсаторах.

При этом может возникнуть явление резонанса напряжений, при котором ток конденсаторной фазы во много раз превысит номинальное значение, что может привести к пробою изоляции обмотки или конденсатора. Учитывая это при выборе конденсатора, номинальное напряжение его должно быть выше напряжения сети питающего электродвигатель. Как при недостаточной емкости, так и ее избытке, показатели электродвигателя ухудшаются, и пусковой момент уменьшается. С увеличением мощности электродвигателя потребность в емкости возрастает, поэтому, начиная с мощности 1 (максимум 1,7 *кВт*), применение конденсаторных электродвигателей не выгодно, так как стоимость пусковых и рабочих конденсаторов выше, чем стоимость электродвигателя.

При использовании же трехфазных электродвигателей в однофазной сети схема включения обмотки должна соответствовать напряжению сети или близка к нему, при этом требуется значительно большая емкость по сравнению с электродвигателями, имеющими основную и дополнительную обмотки.

Если трехфазный электродвигатель изготовлен с обмоткой на напряжение 127/220 *в* (в настоящее время встречающихся редко), то обмотка его соединяется звездой (рис. 18), тогда рабочая обмотка занимает 2 фазы со 120–градусной фазной зоной, и расчет рабочей емкости производится по формуле 12, 12а. Эта схема является более экономичной и эффективной, приближается к электродвигателям с пусковой и рабочей обмотками.

Если же трехфазный электродвигатель имеет напряжение 220/380 *в* (более распространенное), то обмотка его соединяется в треугольник (рис. 18), при этом рабочая обмотка охватывает одну фазу.

Для работы такого электродвигателя в однофазной сети 220 *в* требуется емкость приблизительно в 2 раза больше, поэтому результат, полученный по формулам 12, 12а, необходимо увеличить. Это говорит о том, что использование в однофазной сети 220 *в* трехфазных электродвигателей с напряжением обмотки 220/380 *в* обходится дороже, чем однофазных электродвигателей с основной и вспомогательной обмотками или с напряжением трехфазного электродвигателя 127/220 *в*. По схеме 8 звезда или треугольник полной симметрии напряжений и токов конденсаторного электродвигателя добиться невозможно, но все же позволяет их использовать в однофазной сети.

Конденсаторы изготовляются на определенное рабочее (номинальное) напряжение, при котором они могут включены длительно. На каждом конденсаторе указаны тип, напряжение и емкость, что является основным критерием при эксплуатации.

Электрические свойства конденсаторов в значительной степени зависят от рода диэлектрика, заключенного между обкладками, поэтому их подразделяют по признаку: воздушные, бумажные, слюдяные, масляные, электротехнические и т.д.

7. Обмоточные данные однофазных электродвигателей напряжением 220 *в*, пересчитанных с трехфазных 220/380 *в* серии А(АО), АО2, 4А и заводского изготовления серии АОЛБ, АОЛГ, АОЛД, АВЕ, бытовых нужд, АИРУТ и болгарского производства.

Пояснение к данным однофазных электродвигателей.

P – мощность электродвигателя; *I*о – номинальная сила тока в Амперах;
D – диаметр расточки статора в *мм*.; *l* – длина активной части статора;
Z – число пазов статора; *d* – диаметр обмоточного провода в *мм*.;
N – число эффективных проводников в пазу статора означает: одна цифра – однослойная обмотка, а с цифрой через знак умножения – число элементарных проводников, две цифры через плюс – двухслойная.
*N*осн., *N*обр. – число проводников в пазу пусковой обмотки и дополнительных бифилярных витков.
q – число пазов на полюс и фазу означает: одна цифра – целое число, две цифры через плюс – "развалка";
y – расчетный шаг обмотки означает: одна цифра – равносекционная обмотка, две и более цифры – концентрическая; КГ – число катушечных групп в обмотках;
C – емкость в микрофарадах.

7. 1. Данные однофазных электродвигателей 220 *в* пересчитанных с трехфазных 220/380 *в* серии А (АО).

трехфазный					однофазный		рабочая обмотка						пусковая обмотка							Рис
Тип	*P, кВт*	*Z*	*D*	*L*	*P, кВт*	2*p*	*Z*	*N*	*d*	*q*	*y*	КГ	*Z*	*N*осн	*N*обр	*d*	*q*	*y*	КГ	
АО31–2	1	24	82	64	0,5	2	16	46	0,8	4+4	8	2	8	70	22	0,56	2+2	10	2	5а
АО32–2	1,7	24	82	100	0,9	2	16	30	1,0	4+4	8	2	8	44	16	0,71	2+2	10	2	5а
АО41–2	2,8	24	104	75	1,4	2	16	29	1,4	4+4	8	2	8	43	15	1,0	2+2	10	2	5а
АО42–2	2,8	24	104	115	1,4	2	16	23	1,5	4+4	8	2	8	35	11	1,06	2+2	10	2	5а
АО31–2	1	24	82	64	0,5	2	16	27+27	0,75	8	8	2	8	54+54	–	0,53	4	8	2	1б
АО32–2	1,7	24	82	100	0,9	2	16	17+17	0,95	8	8	2	8	34+34	–	0,67	4	8	2	1б
АО41–2	2,8	24	104	75	1,4	2	16	16+16	1,32	8	8	2	8	32+32	–	0,95	4	8	2	1б
АО42–2	2,8	24	104	115	1,4	2	16	14+14	1,4	8	8	2	8	28+28	–	1,0	4	8	2	1б
АО32–4	1	24	89	100	0,5	4	16	52	0,9	2+2	6	4	8	78	26	0,63	2	6	2	8в
АО41–4	1,7	36	112	75	0,9	4	24	33	1,18	3+3	6	4	12	50	16	0,85	3	9	2	9б
АО42–2	2,8	36	112	115	1,4	4	24	23	1,5	3+3	6	4	12	36	10	1,06	3	9	2	9б
АО32–4	1	24	89	100	0,5	4	16	30+30	0,95	4	4	4	8	60+60	–	0,6	2	4	4	2а
АО41–4	1,7	36	112	75	0,9	4	24	19+19	1,12	6	6	4	12	38+38	–	0,8	3	6	4	2б
АО42–4	2,8	36	112	115	1,4	4	24	13+13	1,4	6	6	4	12	26+26	–	1,0	3	6	4	2б

7. 2. Данные однофазных электродвигателей 220 *в* пересчитанных с трехфазных 220/380 *в* серии АО2.

трехфазный					однофазный		рабочая обмотка						пусковая обмотка							Рис.
тип	*P, кВт*	*Z*	*D*	*L*	*P, кВт*	2р	*Z*	*N*	*d*	*q*	*y*	КГ	*Z*	*N*осн	*N*обр	*d*	*q*	*y*	КГ	
АО2–12–2	1,1	24	73	65	0,6	2	16	50	0,9	4+4	8	2	8	76	24	0,63	2+2	10	2	5а
АО2–21–2	1,5	24	86	63	0,8	2	16	43	1,06	4+4	8	2	8	64	22	0,75	2+2	10	2	5а
АО2–22–2	2,2	24	86	90	1,1	2	16	34	1,18	4+4	8	2	8	52	18	0,85	18	10	2	5а
АО2–31–2	3	24	106	88	1,6	2	16	28	1,4	4+4	8	2	8	41	15	1,0	2+2	10	2	5а
АО2–32–2	4	24	106	115	2,1	2	16	24	1,7	4+4	8	2	8	36	12	1,18	2+2	10	2	5а
АО2–12–2	1,1	24	73	65	0,6	2	16	28+28	0,8	8	8	2	8	56+56	–	0,6	4	8	2	1б
АО2–21–2	1,5	24	86	63	0,8	2	16	25+25	1,0	8	8	2	8	48+48	–	0,71	4	8	2	1б
АО2–22–2	2,2	24	86	90	1,1	2	16	20+20	1,12	8	8	2	8	40+40	–	0,8	4	8	2	1б
АО2–31–2	3	24	106	88	1,6	2	16	16+16	1,32	8	5	2	8	34+34	–	0,95	4	8	2	1б
АО2–32–2	4	24	106	115	2,1	2	16	14+14	1,6	8	8	2	8	28+28	–	1,12	4	8	2	1б
АО2–21–2	1,5	24	86	63	0,4	4	16	86	0,75	2+2	6	4	8	120	60	0,53	2	6	2	8в
АО2–22–2	2,2	24	86	90	0,6	4	16	68	0,85	2+2	6	4	8	94	42	0,6	2	6	2	8в
АО2–31–2	3	24	106	88	0,8	4	16	56	0,95	2+2	6	4	8	77	35	0,67	2	6	2	8в
АО2–32–2	4	24	100	115	1,1	4	16	48	1,18	2+2	6	4	8	70	26	0,85	2	6	2	8в
АО2–21–2	1,5	24	86	63	0,4	4	16	50+50	0,71	4	4	4	8	100+100	–	0,5	2	4	4	2а
АО2–22–2	2,2	24	86	90	0,6	4	16	40+40	6,8	4	4	4	8	80+80	–	0,56	2	4	4	2а
АО2–31–2	3	24	106	88	0,8	4	16	33+33	0,9	4	4	4	8	66+66	–	0,63	2	4	4	2а
АО2–32–2	4	24	106	115	1,1	4	16	28+28	1,12	4	4	4	8	56+56	–	0,8	2	4	4	2а
АО2–21–4	1,1	24	94	70	0,6	4	16	56	0,9	2+2	6	4	8	82	30	0,63	2	6	2	8в
АО2–22–4	1,5	24	94	95	0,8	4	16	46	1,06	2+2	6	4	8	70	22	0,75	2	6	2	8в
АО2–31–4	2,2	36	112	88	1,1	4	24	26	1,32	3+3	6	4	12	36	15	0,9	3	9	2	9б
АО2–32–4	3	36	112	115	1,6	4	24	21	1,6	3+3	6	4	12	30	12	1,12	3	9	2	9б
АО2–41–4	4	36	133	110	2,2	4	24	21	1,8	3+3	6	4	12	30	12	1,25	3	9	2	9б
АО2–21–4	1,1	24	94	70	0,6	4	16	34+34	0,85	4	4	4	8	68+68	–	0,6	2	4	4	2а
АО2–22–4	1,5	24	94	95	0,8	4	16	26+26	1,0	4	4	4	8	52+52	–	0,71	2	4	4	2а
АО2–31–4	2,2	36	112	88	1,1	4	24	15+15	1,25	6	6	4	12	30+30	–	0,85	3	6	4	2б
АО2–32–4	3	36	112	115	1,6	4	24	12+12	1,5	6	6	4	12	24+24	–	1,06	3	6	4	2б
АО2–41–4	4	36	133	110	2,2	4	24	11+11	1,7	6	6	4	12	22+22	–	1,18	3	6	4	2б

7. 3. Данные однофазных электродвигателей 220 *в* пересчитанных с трехфазных 220/380 *в* серии 4А.

трехфазный					однофазный		рабочая обмотка						пусковая обмотка							Рис.
тип	*P, кВт*	*Z*	*D*	*L*	*P, кВт*	*2p*	*Z*	*N*	*d*	*q*	*y*	КГ	*Z*	*N*осн	*N*обр	*d*	*q*	*y*	КГ	
4А71В–2	1,1	24	65	74	0,6	2	16	47	0,75	4+4	8	2	8	66	28	0,53	2+2	10	2	5а
4А80А–2	1,5	24	74	78	0,8	2	16	40	1,0	4+4	8	2	8	58	22	0,71	2+2	10	2	5а
4А80В–2	2,2	24	74	98	1,1	2	16	30	1,18	4+4	8	2	8	44	16	0,8	2+2	10	2	5а
4А90L–2	3	24	84	100	1,6	2	16	27	1,32	4+4	8	2	8	42	12	0,9	2+2	10	2	5а
4А100S–2	4	24	95	100	2	2	16	23	1,6	4+4	8	2	8	35	11	1,18	2+2	10	2	5а
4А71В–2	1,1	24	65	74	0,6	2	16	27+27	0,71	8	8	2	8	54+54	–	0,5	4	8	2	1б
4А80А–2	1,5	24	74	78	0,8	2	16	22+22	0,95	8	8	2	8	42+42	–	0,67	4	8	2	1б
4А80В–2	2,2	24	74	98	1,2	2	16	17+17	1,12	8	8	2	8	34+34	–	0,75	4	8	2	1б
4А90L–2	3	24	84	100	1,6	2	16	16+16	1,25	8	8	2	8	32+32	–	0,85	4	8	2	1б
4А100S–2	4	24	95	100	2	2	16	14+14	1,5	8	8	2	8	28+28	–	1,12	4	8	2	1б
4А80А–2	1.5	24	74	78	0,4	4	16	78	0,71	2+2	4	4	8	110	48	0,5	2	6	2	8в
4А80В–2	2,2	24	74	98	0,6	4	16	60	0,8	2+2	4	4	8	84	36	0,56	2	6	2	8в
4А90L–2	3	24	84	100	0,8	4	16	54	0,95	2+2	4	4	8	80	30	0,67	2	6	2	8в
4А100S–2	4	24	95	100	1,1	4	16	46	1,18	2+2	4	4	8	60	29	0,85	2	6	2	8в
4А80А–2	1,5	24	74	78	0,4	4	16	43+43	0,67	4	4	4	8	86+86	–	0,5	2	4	4	2а
4А80В–2	2,2	24	74	98	0,6	4	16	35+35	0,8	4	4	4	8	68+68	–	0,6	2	4	4	2а
4А90L–2	3	24	84	100	0,8	4	16	32+32	0,9	4	4	4	8	62+62	–	0,67	2	4	4	2а
4А100S–2	4	24	95	100	1,1	4	16	27+27	1,12	4	4	4	8	54+54	–	0,8	2	4	4	2а
4А80А–4	1,1	36	84	78	0,6	4	24	39	0,8	3+3	9	4	12	58	20	0,53	3	9	2	9в
4А80В–4	1,5	36	84	98	0,8	4	24	32	1,0	3+3	9	4	12	49	15	0,71	3	9	2	9в
4А90L–4	2,2	36	95	100	1,1	4	24	26	1,18	3+3	9	4	12	40	12	0,85	3	9	2	9в
4А100S–4	3	36	105	100	1,5	4	24	22	1,4	3+3	9	4	12	34	10	0,95	3	9	2	9б
4А100L–4	4	36	105	130	2	4	24	18	1,6	3+3	9	4	12	26	9	1,18	3	9	2	9в
4А80А–4	1,1	36	84	78	0,6	4	24	22+22	0,71	6	6	4	12	44+44	–	0,5	3	6	4	2б
4А80S–4	1,5	36	84	98	0,8	4	24	18+18	0,95	6	6	4	12	36+36	–	0,67	3	6	4	2б
4А90L–4	2,2	36	95	100	1,1	4	24	14+14	1,12	6	6	4	12	28+28	–	0,8	3	6	4	2б
4А100S–4	3	36	105	100	1,5	4	24	12+12	1,32	6	6	4	12	22+22	–	0,9	3	6	4	2б
4А100L–4	4	36	105	130	2	4	24	11+11	1,5	6	6	4	12	20+20	–	1,12	3	6	4	2б

7. 4. Данные однофазных электродвигателей серии АОЛБ, АОЛГ, АОЛД, напряжением 220 *в*. (Б – активное сопротивление, Г – с пусковым конденсатором, Д – с пусковым и постоянно включенным конденсатором).

Тип	*P, ватт*	*I*o	*D*	*L*	*Z*	рабочая обмотка						пусковая обмотка							Сп	Ср	Рис.
						Z	*N*	*d*	*q*	*y*	КГ	*Z*	*N*осн	*N*обр	*d*	*q*	*y*	КГ			
Б–011–2	30	0,85	52	38	18	12	200	0,3	3+3	6	2	6	166	55	0,28	1+2	7 и 8	2	–	–	4а
Г–011–2	30	0,49	52	38	18	12	200	0,3	3+3	6	2	6	412	–	0,19	1+2	7 и 8	2	10	–	4а
Д–011–2	50	0,48	52	38	18	8	260	0,25	2+2	6	2	8	300	–	0,23	2+2	7	2	8	3	10а
Б–011–4	18	0,55	52	38	18	12	140+140	0,25	3	3	4	6	89+89	34+34	0,25	1 и 2	3	4	–	–	–
Г–011–4	18	0,55	52	38	18	12	140+140	0,25	3	3	4	6	232+232	–	0,17	1 и 2	3	4	7	–	–
Д–011–4	30	0,47	52	38	18	8	436	0,25	1+1	3	4	8	466	–	0,19	1+1	3	4	5	2,5	–
Б–012–2	50	0,68	52	52	18	12	150	0,33	3+3	6	2	6	124	41	0,3	1+2	7 и 8	2	–	–	4а
Г–012–2	50	0,68	52	52	18	12	150	0,33	3+3	6	2	6	314	–	0,21	1+2	7 и 8	2	5	–	4а
Д–012–2	80	0,68	52	52	18	8	190	0,28	2+2	6	2	8	205	–	0,28	2+2	7	2	10	5	10а
Б–012–4	30	0,72	52	52	18	12	102+102	0,28	3	3	4	6	74+74	28+28	0,28	1 и 2	3	4	–	–	–
Г–012–4	30	0,72	52	52	18	12	102+102	0,28	3	3	4	8	184+184	–	0,28	1 и 2	3	4	8	3	–
Д–012–4	50	0,65	52	52	18	8	260	0,25	1+1	3	2	8	382	–	0,2	1+1	3	2	4	–	–
Б–11–2	80	1	60	46	24	16	104	0,45	4+4	8	2	8	120	47	0,35	2+2	10	2	25	–	5а
Г–11–2	80	1	60	46	24	16	104	0,45	4+4	8	2	8	228	–	0,3	2+2	10	2	–	–	5а
Д–11–2	120	0,9	60	46	24	12	125	0,37	3+3	9	2	12	136	21	0,35	3+3	9	2	10	6	12а

7. 4 Данные однофазных электродвигателей серии АОЛБ, АОЛГ, АОЛД, напряжением 220 *в* (продолжение). (Б – активное сопротивление, Г – с пусковым конденсатором, Д – с пусковым и постоянно включенным конденсатором)

Тип	*P*, *ватт*	*I*о	*D*	*L*	*Z*	рабочая обмотка						пусковая обмотка									Рис,
						Z	*N*	*d*	*q*	*y*	КГ	*Z*	*N*осн	*N*обр	*d*	*q*	*y*	КГ	Сп	Ср	
Б–11–4	50	1,1	60	46	24	16	145	0,35	2+2	6	4	8	114	–	0,35	2	6	2	–	–	8в
Г–11–4	50	1,1	60	46	24	16	145	0,35	2+2	6	4	8	268	–	0,28	2	6	2	20	–	8в
Д–11–4	80	0,95	60	46	24	12	164	0,35	3	9	2	12	283	–	0,25	3	9	2	6	3	13б
Б–12–2	120	1,4	60	62	24	16	80	0,5	4+4	8	2	8	84	32	0,4	2+2	10	2	–	–	5а
Г–12–2	120	1,4	60	62	24	16	80	0,53	4+4	8	2	8	177	–	0,35	2+2	10	2	25	–	5а
Д–12–2	180	1,3	60	62	24	12	98	0,45	3+3	9	2	12	89	–	0,47	3+3	9	2	15	10	12а
Б–12–4	80	1,45	60	62	24	16	113	0,42	2+2	6	4	8	98	16	0,42	2	6	2	–	–	8в
Г–12–4	80	1,45	60	62	24	16	113	0,42	2+2	6	4	8	235	–	0,3	2	6	2	25	–	8в
Д–12–4	120	1,3	60	62	24	12	125	0,4	3	9	2	12	218	–	0,3	3	9	2	6	4	13б
Б–21–2	180	1,9	72	56	24	16	71	0,6	4+4	8	2	8	94	30	0,4	2+2	10	2	–	–	5а
Г–21–2	180	1,9	72	56	24	16	71	0,6	4+4	8	2	8	161	–	0,35	2+2	10	2	30	–	5а
Д–21–2	270	1,85	72	56	24	12	79	0,56	3+3	9	2	12	72	–	0,6	3+3	9	2	25	15	12а
Б–21–4	120	1,9	72	56	24	16	95	0,5	2+2	6	4	8	98	18	0,45	2	6	2	–	–	8в
Г–21–4	120	1,9	72	56	24	16	95	0,5	2+2	6	4	8	197	–	0,35	2	6	2	35	–	8в
Д–21–4	180	1,75	72	56	24	12	105	0,47	3	9	2	12	170	–	0,35	3	9	2	10	6	12а
Б–22–2	270	2,7	72	76	24	16	51	0,75	4+4	8	2	8	60	26	0,53	2+2	10	2	–	–	5а
Г–22–2	270	2,7	72	76	24	16	51	0,75	4+4	8	2	8	149	–	0,38	2+2	10	2	35	–	5а
Д–22–2	400	2,65	72	76	24	12	59	0,67	3+3	9	2	12	51	–	0,75	3+3	9	2	40	25	12а
Б–22–4	180	2,5	72	76	24	16	72	0,6	2+2	6	4	8	84	16	0,47	2	6	2	–	–	8в
Г–22–4	180	2,5	72	76	24	16	72	0,6	2+2	6	4	8	168	–	0,35	2	6	2	40	–	8в
Д–22–4	270	2,4	72	76	24	12	76	0,56	3	9	2	12	127	–	0,42	3	6	2	12	8	13б
Б–31–2	400	3,8	82	64	24	16	46	0,9	4+4	8	2	8	59	23	0,65	2+2	10	2	–	–	5а
Г–31–2	400	3,8	82	64	24	16	46	0,9	4+4	8	2	8	110	–	0,53	2+2	10	2	80		5а
Д–31–2	600	3,8	82	64	24	12	50	0,85	3+3	9	2	12	46	–	0,9	3+3	9	2	90	35	12а
Б–31–4	270	3,3	89	64	24	16	70	0,8	2+2	6	4	8	92	18	0,6	2	6	2	–	–	8в
Г–31–4	270	3,3	89	64	24	16	70	0,8	2+2	6	4	8	92	18	0,6	2	6	2	60	–	8в
Д–31–4	400	3,3	89	64	24	12	73	0,75	3	9	2	12	110	–	0,6	3	9	2	25	12	136
Б–32–2	600	5,5	82	100	24	16	32	1,12	4+4	8	2	8	68	22	0,6	2+2	10	2	–	–	5а
Г–32–2	600	5,5	82	100	24	16	32	1,12	4+4	8	2	8	97	–	0,56	2+2	10	2	90	–	5а
Д–32–2	1000	6	82	100	24	12	32	1,12	3+3	9	2	12	32	–	1,06	3+3	9	2	125	45	12а
Б–32–4	400	4,4	89	100	24	16	49	0,95	2+2	6	4	8	72	25	0,56	2	6	2	–	–	8в
Г–32–4	400	4,4	89	100	24	16	49	0,95	2+2	6	4	8	139	–	0,53	2	6	2	70	–	8в
Д–32–4	600	4,45	89	100	24	12	51	0,95	3	9	2	12	64	–	0,8	3	9	2	90	32	13б

7. 5 Данные однофазных электродвигателей серии АВЕ (конденсаторный, с двухслойной обмоткой) 220 *в*.

Тип	*P*, *ватт*	*I*о	*Z*	рабочая обмотка						пусковая обмотка						Рис,
				Z	*N*	*d*	*q*	*y*	КГ	*Z*	*N*	*d*	*q*	*y*	КГ	
041–2	18	0,23	18	9	177+177	0,21	4 и 5	7	2	9	328+328	0,16	5 и 4	7	2	–
042–2	30	0,28	18	9	148+148	0,23	4 и 5	7	2	9	215+215	0,2	5 и 4	7	2	–
041–4	10	0,16	18	10	400+400	0,17	3 и 2	4	4	8	400+400	0,17	2	4	4	–
042–4	18	0,24	18	10	245+245	0,23	3 и 2	4	4	8	368+368	0,19	2	4	4	–
051–2	50	0,43	18	9	140+140	0,29	4 и 5	7	2	9	154+154	0,27	5 и 4	7	2	–
052–2	80	0,66	18	9	98+98	0,33	4 и 5	7	2	9	98+98	0,33	5 и 4	7	2	–
051–4	30	0,37	18	10	221+221	0,27	3 и 2	4	4	8	332+332	0,21	2	4	4	–
052–4	50	0,51	18	10	154+154	0,33	3 и 2	4	4	8	207+207	0,27	2	4	4	–
061–2	120	0,85	24	12	63+63	0,41	6	9	2	12	63+63	0,41	6	9	2	–
062–2	180	0,27	24	12	43+43	0,51	6	9	2	12	52+52	0,44	8	9	2	–
061–4	80	0,63	24	12	97+97	0,41	3	5	4	12	155+155	0,31	3	5	4	–
062–4	120	0,93	24	12	72+72	0,5	3	5	4	12	111+111	0,38	3	5	4	–
071–2	270	1,85	24	12	36+36	0,63	6	9	2	12	64+64	0,47	6	9	2	–
072–2	400	2,66	24	12	29+29	0,71	6	9	2	12	50+50	0,53	6	9	2	–
071–4	180	1,35	24	12	64+64	0,53	3	5	4	12	98+98	0,41	3	5	4	–
072–4	270	2	24	12	46+46	0,65	3	5	4	12	85+85	0,47	3	5	4	–

7. 6 Данные однофазных двигателей для бытовых нужд 220 *в*.

Тип	*P*, *ватт*	*I*о	*Z*	рабочая обмотка						пусковая обмотка						Рис.
				Z	*N* в секциях	*d*	*q*	*y*	КГ	*Z*	*N* в секциях	*d*	*q*	*y*	КГ	
ДХМ2–2	150	1,05	16	8	154–143–108	0,6	3	7, 5, 3	2	8	98–91–65	0,28	3	7, 5, 3	2	–
ДХМ5–4	155	1,26	32	16	80–107–123	0,71	3	7, 5, 3	4	16	35–69–69	0,3	3	7, 5, 3	4	14а
ДАО, ДАОГ	300	2,1	32	16	23–49–52	0,67	3	7, 5, 3	4	16	24–53–57	0,33	3	7, 5, 3	4	14а
ДАОА–4	300	2,1	32	16	40–84–90	0,8	3	7, 5, 3	4	16	22–48–52	0,45	3	7, 5, 3	4	14а
ДАОСТУ–102	150		32	18	85–10–117	0,63	3	7, 5, 3	4	14	78–81–86	0,4	2	7, 5, 3	4	14б
АЕВ–071–4	280	1,4	24	12	64+64	0,53	3	5	4	12	125+125	0,4	3	5	4	–
АЕВ–072–4	300	2,1	24	12	44+44	0,63		5	4	12	78+78	0,5	3	5	4	–
АОЛБ–22–4	350	2,5	24	16	90	0,6	3	5, 3	8	8	70	0,35		5	4	–
АОЛГ–22–4	500	3,5	24	16	64	0,71	2	5, 3	4	8	159	0,42	1	5	4	8а
АОЛБ–22–4	340	2,5	24	16	72	0,71			8	8	100	0,45			4	–
СМ7–4	500	3,9			128	0,85			4							
МСМ–02–4	280	1,7			2064	0,71					792	0,45				
МА21–4	380	2,9			165	0,85		11, 9, 7, 5	4		115	0,45			4	
ДЦСМ1–2	200	2,1	24	12	105–105–45–45	0,67	4		2	12	125–125–73–73	0,63	4	11, 9, 7, 5	2	
АОЛГ–22–4	500	3,5	24	16	64	0,71	2	5, 3	4	8	159	0,42	1	5	4	
АНЛБ2–12–2	600	3,6			51	0,85		7, 5	8		78–28	0,6		11, 9	4	
АЕР–16–4	180	2,2	24	16	40–81–90	0,67	3	7, 5, 3	4	16	24–53–57	0,33	3	7, 5, 3	4	

7. 7 Данные однофазных двигателей серии АИР напряжением 220 *в* (конденсаторные).

Тип	*P*, *кВт*	*Z*	*D*	*L*	*η*	cosφ	рабочая обмотка						пусковая обмотка								Рис.
							Z	*N*	*d*	*q*	*y*	КГ	*Z*	*N*	*d*	*q*	*y*	КГ	Сп	Ср	
АИРУТ–71А–2	0,75	24	63	68	0,75	0,98	12	50	0,75	3+3	9	2	12	50	0,75	3+3	9	2	80	33	12а
АИРУТ–71В–2	1,1	24	63	77	0,76	0,98	12	44	0,8	3+3	9	2	12	44	0,8	3+3	9	2	175	45	12а
АИРУТ–71А–4	0,55	36	68	65	0,73	0,96	20	57	0,63	2 и 3	6 и 7	4	16	73	0,56	2+2	7	4	103	27	11в
АИРУТ–71В–4	0,75	36	68	76	0,73	0,97	20	41	0,75	2 и 3	6 и 7	4	16	48	0,71	2+2	7	4	113	37	11в

7. 8 Данные однофазных двигателей серии ЕО1 напряжением 220 *в* Болгарского завода Троян (обмотка концентрическая в развалку).

Тип	*P*, *ватт*	*I*о	*D*	*L*	*Z*	рабочая обмотка						пусковая обмотка								Рис.
						Z	*N*	*d*	*q*	*y*	КГ	*Z*	*N*осн	*N*обр	*d*	*q*	*y*	КГ	Сп	
Е01–11–2	180	2	66	40	24	16	84	0,71	4+4	8	2	8	108	31	0.3	2+2	10	2	–	5а
ЕО1–12–2	250	2,5	66	50	24	16	68	0,75	4+4	8	2	8	96	29	0,5	2+2	10	2	–	5а
ЕО1–13–2	400	3,9	66	65	24	16	53	0,85	4+4	8	2	8	69	21	0,6	2+2	10	2	–	5а
Е01–11–4	120	1,9	72	40	36	24	90	0,6	3+3	6	4	12	108	32	0,4	1+2	7 и 8	4	–	9а
ЕО1–12–4	180	2,5	72	50	36	24	68	0,67	3+3	6	4	12	82	22	0,45	1+2	7 и 8	4	–	9а
ЕО1–13–4	250	2,9	72	65	36	24	54	0,8	3+3	6	4	12	66	22	0,53	1+2	7 и 8	4	–	9а
ЕОК1–11–2	180	2	66	40	24	16	84	0,71	4+4	8	2	8	174	–	0,45	2+2	10	2	40	5а
ЕОК1–12–2	250	2,5	66	50	24	16	68	0,75	4+4	8	2	8	137	–	0,53	2+2	10	2	60	5а
ЕОК1–13–2	400	3,5	66	65	24	16	53	0,85	4+4	8	2	8	106	–	0,6	2+2	10	2	60	5а
ЕОК1–21–2	600	4,9	82	65	24	16	44	1,0	4+4	8	2	8	94	–	0,63	2+2	10	2	125	5а
ЕОК1–22–2	800	6,3	82	75	24	16	38	1,06	4+4	8	2	8	84	–	0,67	2+2	10	2	125	5а
ЕОК1–11–4	120	1,9	72	40	36	24	90	0,63	3+3	6	4	12	148	–	0,4	1+2	7 и 8	4	40	9а
ЕОК1–12–4	180	2,5	72	50	36	24	68	0,71	3+3	6	4	12	124	–	0,5	1+2	7 и 8	4	60	9а
ЕОК1–13–4	250	2,9	72	65	36	24	54	0,85	3+3	6	4	12	100	–	0,53	1+2	7 и 8	4	60	9а
ЕОК1–21–4	400	4	89	65	36	24	45	0,85	3+3	6	4	12	90	–	0,53	1+2	7 и 8	4	100	9а
ЕОК1–22–4	600	5,6	89	80	36	24	32	0,95	3+3	6	4	12	64	–	0,63	1+2	7 и 8	4	125	9а
ЕО2ПК–11–2	600	4,7	69	85	24	16	37	0,85	4+4	8	2	8	68	–	0,63	2+2	10	2	125	5а
ЕО2ПК–12–2	800	6,1	69	105	24	16	30	0,95	4+4	8	2	8	59	–	0,75	2+2	10	2	150	5а
ЕОПК–80А–2	250	2,6	69	50	24	16	63	0,67	4+4	8	2	8	116	–	0,47	2+2	10	2	60	5а
ЕОПК–80В–2	370	3,7	69	65	24	16	48	0,75	4+4	8	2	8	89	–	0,56	2+2	10	2	60	5а
ЕОПК–80С–2	550	5,1	69	85	24	16	37	0,85	4+4	8	2	8	68	–	0,63	2+2	10	2	2	5а
ЕО2ПК–11–4	400	4,3	76	85	36	24	36	0,75	3+3	6	4	12	74	–	0,47	1+2	7 и 8	4	100	9а
ЕО2ПК–12–4	600	5,5	76	105	36	24	30	0,85	3+3	6	4	12	60	–	0,56	1+2	7 и 8	4	125	9а
ЕОПК–80А–4	180	2,6	76	45	36	24	61	0,56	3+3	6	4	12	118	–	0,37	1+2	7 и 8	4	52	9а
ЕОПК–80В–4	250	3,4	76	60	36	24	47	0,63	3+3	6	4	12	91	–	0,42	1+2	7 и 8	4	60	9а
ЕОПК–80С–4	370	4,6	76	80	36	24	38	0,71	3+3	6	4	8	74	–	0,47	1+2	7 и 8	4	76	9а
4ЕОКА–71А–2	250	2,5	62	40	24	16	67	0,63	4+4	8	2	8	144	–	0,4	2+2	10	2	60	5а
4ЕОКА–71В–2	370	3,5	62	55	24	16	50	0,71	4+4	8	2	8	125	–	0,45	2+2	10	2	60	5а
4ЕОКА–71С–2	550	4,6	62	75	24	16	38	0,85	4+4	8	2	8	100	–	0,5	2+2	10	2	100	5а
4ЕОКА–80В–2	1100	5,6	69	75	24	16	38	0,71	4+4	8	2	8	86	–	0,63	2+2	10	2	150	5а
4ЕОКА–80С–2	1100	8,2	69	100	24	16	27	0,85	4+4	8	2	8	76	–	0,71	2+2	10	2	150	5а
4ЕОКА–80В–2	750	6	69	85	24	16	34	0,71	4+4	8	2	8	80	–	0,67	2+2	10	2	150	5а
4ЕОКА–80С–2	1100	8,5	69	110	24	16	25	0,85	4+4	8	2	8	68	–	0,71	2+2	10	2	150	5а
4ЕОК–71А–4	180	2,5	70	40	36	24	61	0,53	3+3	6	4	12	120	–	0.37	1+2	7 и 8	4	60	9а
4ЕОК–71В–4	250	3	70	55	36	24	50	0,6	3+3	6	4	12	89	–	0,4	1+2	7 и 8	4	60	9а
4ЕОК–71С–4	370	4,2	70	75	36	24	36	0,71	3+3	6	4	12	72	–	0,5	1+2	7 и 8	4	100	9а
4ЕОК–80В–4	550	5,7	78	75	36	24	34	0,85	3+3	6	4	12	74	–	0.56	1+2	7 и 6	4	100	9а
4ЕОК–80С–4	750	7,1	78	100	36	24	26	0,67	3+3	6	4	12	56	–	0,67	1+2	7 и 8	4	150	9а
4ЕОКА–80В–4	550	5,4	78	85	36	24	33	0,85	3+3	6	4	12	60	–	0,63	1+2	7 и 8	4	150	9а
4ЕОКА–80С–4	750	7,2	78	115	36	24	24	0,71	3+3	6	4	12	56	–	0,63	1+2	7 и 8	4	150	9а
4ЕОКА–71В–6	180	2,5	76	65	36	24	67	0,56	2+2	4	6	12	103	–	0.45	1+1	5	6	60	–
4ЕОКА–71С–6	250	3	76	85	36	24	54	0,63	2+2	4	6	12	92	–	0.47	1+1	5	6	100	–
4ЕОКА–71В–6	370	4,3	76	85	36	24	46	0,75	2+2	4	6	12	88	–	0,53	1+1	5	6	100	–
4ЕОКА–71С–6	550	6	76	115	36	24	32	0,63	2+2	4	6	12	70	–	0,6	1+1	5	6	100	–

Таблица П7. 2. Размеры и обмоточные данные явнополюсных асинхронных двигателей с экранированными полюсами.

Обозначение двигателя	P *вт*	размер статора, *см.*	длина статора, *см.*	количество витков	диаметр провода	R_{20}, Ом	Рис.
ДАО60–1,6–10	1,6	6,1х5	1,55	3600	0,18	212	П7.1
ДАО60–2,5–3,0	2,5	6,1х5	1,55	2840	0,20	139	
ДАО60–4–3.0	4,0	6.1х5	2,00	2260	0,224	97	
ДАО60–6–3 0	6,0	6.1х5	2,60	1820	0,25	72	
ДАО75–2,5–3,0	2,5	7,50	1,50	3700	0,160	292	П7.2
ДАО75–4–3,0	4,0	7,50	1,75	3000	0,18	590	
ДАО75–6–3,0	6,0	7,50	2,20	2400	0,20	400	
ДАО88–10–3,0	10.0	8.80	2,05	2700	0,28	204	
ДАО88–16–3,0	16.0	8.80	2,75	1640	0,315	134	
АД2,5–4/40Е	2,5	7.20	1,35	5000	0,160	1770	П7.3
АД4–4/40Е	4.0	7.20	1,85	3780	0,18	1141	
АД6–4/40Е	6,0	7,20	2,55	2880	0,224	854	
АД10–4/45Е	10,0	8,60	1,95	2880	0,28	449	
АД16–4/45Е	16,0	8.60	3,05	2020	0,355	292,4	
1ДВЛВ–0,6–2	0,6	6.00	1,50	4700	0,12	1840	П7.4
1ДВЛВ–1–2	1.0	6,00	1,50	4100	0,14	950	
1ДВЛВ–1,6–2	1.6	6,00	2,00	3300	0,14	542	
1ДВЛВ–2,5–2	2,5	6.00	2,50	2700	0,160	270	

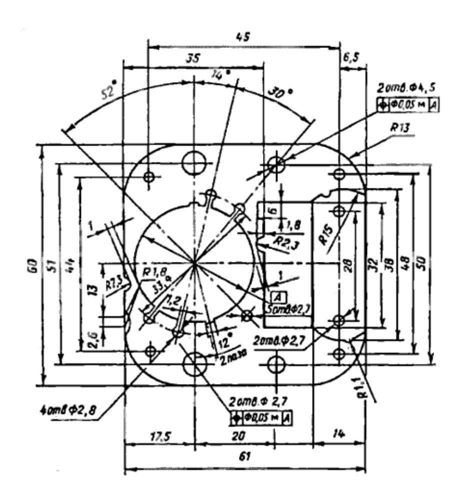


Рис. П7.1

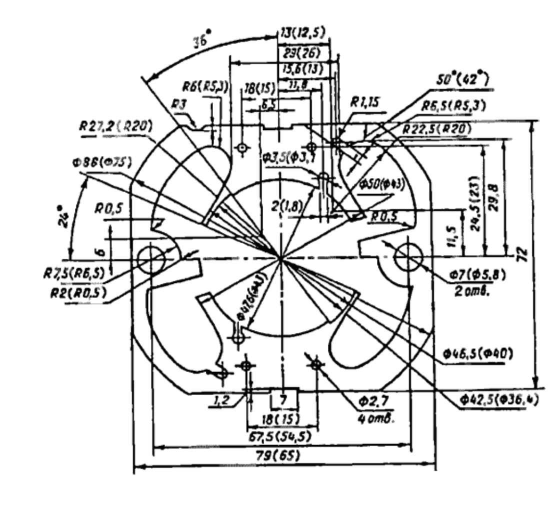


Рис. П7.2

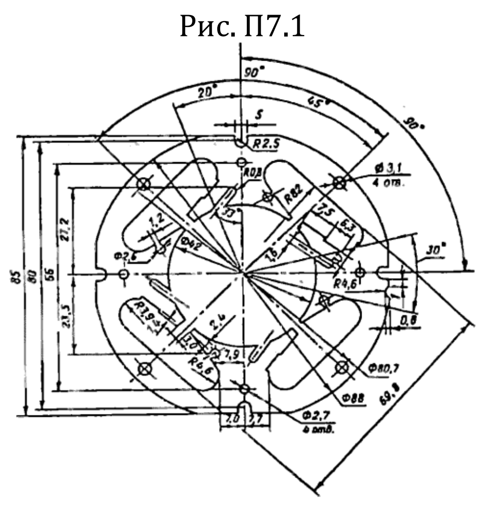


Рис. П7.3

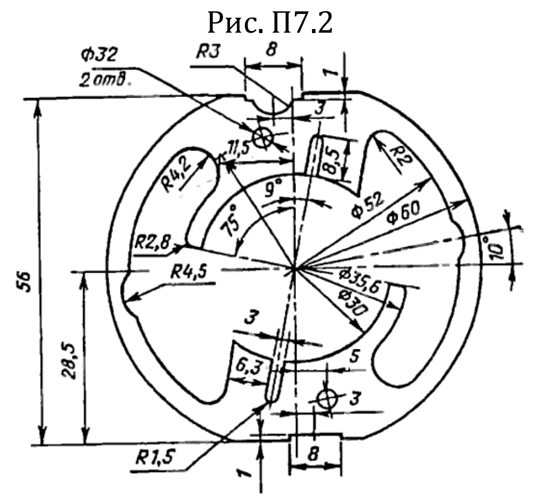


Рис. П7.4